ANEXO TÉCNICO

OBJETO: "ELABORAR LOS ESTUDIOS BÁSICOS DE ZONIFICACIÓN DE AMENAZA, CONDICIONES DE AMENAZAS Y RIESGOS POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN, AVENIDA TORRENCIAL E INCENDIOS FORESTALES DE LOS MUNICIPIOS PRIORIZADOS DE LA JURISDICCIÓN DE LA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA."

1. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DETALLADAS DE LAS ACTIVIDADES A REALIZAR Y/O EQUIPOS A UTILIZAR

1.1. PERSONAL MINIMO REQUERIDO

El proponente deberá presentar el siguiente personal, ***como requisito mínimo***, con las siguientes condiciones profesionales y técnicas:

PERFIL REQUERIDO	CANTIDAD	DEDICACIÓN HORA / MES	FORMACIÓN ACADÉMICA	EXPERIENCIA PROFESIONAL/ESPECIFICA
PROFESIONAL No. 1 DIRECTOR DE CONSULTORIA	1	40%	**INGENIERO CIVIL** **CON MAESTRÍA EN RIESGOS O GEOTECNIA O EN RECURSOS HIDRÁULICOS O EN RECURSOS HÍDRICOS O INGENIERIA CIVIL**	**Experiencia Profesional** de **DOCE (12) AÑOS**, contada a partir de la expedición de la tarjeta profesional. **Experiencia Específica** mínima certificada de **OCHO (8) AÑOS** como **DIRECTOR DE CONSULTORIA** en proyectos relacionados con "**Estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por procesos de origen natural".**
PROFESIONAL No. 2 ESPECIALISTA EN GEOTECNIA	1	35%	**INGENIERO CIVIL** **CON MAESTRIA EN GEOTECNIA O GEOTECNIA AMBIENTAL**	**Experiencia Profesional** de **DIEZ (10) AÑOS**, contada a partir de la expedición de la tarjeta profesional. **Experiencia Específica** mínima certificada de **SEIS (6) AÑOS** como **ESPECIALISTA EN GEOTECNIA** en proyectos relacionados con **"Estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo; o diseños de obras para la mitigación o control o estabilización por procesos de origen natural".**
PROFESIONAL No.3 ESPECIALISTA EN HIDRAULICA	1	35%	**INGENIERO CIVIL O INGENIERO EN RECURSOS HIDRICOS O INGENIERO EN RECURSOS HIDRAULICOS O INGENIERO HIDRÓLOGO O INGENIERO HIDRÁULICO** **EN CUALQUIERA DE LAS CITADAS FORMACIONES ACADÉMICAS DEBERÁ CONTAR CON TÍTULO DE POSGRADO EN RECURSOS HÍDRICOS O**	**Experiencia Profesional** de **DIEZ (10) AÑOS**, contada a partir de la expedición de la tarjeta profesional. . **Experiencia Específica** mínima certificada de **SEIS (6) AÑOS** como **ESPECIALISTA O COORDINADOR O DIRECTOR O LIDER EN HIDRAULICA** en proyectos relacionados con **"Estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo; o diseños de obras para la mitigación o control o**

			RECURSOS HIDRÁULICOS O HIDROLOGÍA O HIDRÁULICA O MANEJO Y GESTIÓN DEL RECURSO HÍDRICO O ADMINISTRACIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS O APROVECHAMIENTO DE RECURSOS HIDRÁULICOS	**estabilización por procesos de origen natural".**
PROFESIONAL No.4 GEOLOGO	1	30%	**GEÓLOGO O INGENIERO GEÓLOGO** **EN CUALQUIERA DE LAS CITADAS FORMACIONES ACADÉMICAS DEBERÁ CONTAR CON MAESTRÍA GEOLOGÍA O EVALUACIÓN Y GESTIÓN DE RIESGOS GEOLÓGICOS O FOTOINTERPRETACIÓN**	**Experiencia Profesional** de **OCHO (08) AÑOS** contada a partir de la expedición de la tarjeta profesional o título profesional según corresponda. **Experiencia Específica** mínima certificada de **CUATRO (4) AÑOS** como **ESPECIALISTA EN GEOLOGÍA O FOTOINTERPRETACIÓN** en proyectos relacionados con **"Estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo; o diseños de obras para la mitigación o control o estabilización por procesos de origen natural".**
PROFESIONAL No. 5 INGENIERO CATASTRAL	1	25%	**INGENIERO CATASTRAL O INGENIERO TOPOGRÁFICO O INGENIERO CATASTRAL Y GEODESTA O INGENIERO DE SISTEMAS INGENIERO GEÓGRAFO Y AMBIENTAL** **EN CUALQUIERA DE LAS CITADAS FORMACIONES ACADÉMICAS DEBERÁ CONTAR CON POSTGRADO EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA O SENSORES REMOTOS O GEOMÁTICA**	**Experiencia Profesional** de **SEIS (06) AÑOS** contada a partir de la expedición de la tarjeta profesional. **Experiencia Específica** mínima certificada de **TRES (3) AÑOS** como como **ESPECIALISTA SIG O CATASTRAL** en proyectos relacionados con **Estudios de: amenaza, vulnerabilidad y riesgo, o diseños de obras para la mitigación, o control, o estabilización por procesos de origen natural.**
PROFESIONAL No. 6 INGENIERO AMBIENTAL	1	25%	**INGENIERO AMBIENTAL O INGENIERO AMBIENTAL Y SANITARIO** **EN CUALQUIERA DE LAS CITADAS FORMACIONES ACADÉMICAS DEBERÁ CONTAR CON POSTGRADO EN INGENIERÍA AMBIENTAL**	**Experiencia Profesional** de **CUATRO (04) AÑOS** contada a partir de la expedición de la tarjeta profesional. **Experiencia Específica** mínima certificada de **DOS (2) AÑOS** como **ESPECIALISTA AMBIENTAL** en proyectos relacionados con **Estudios de: amenaza, vulnerabilidad y**

				riesgo, o diseños de obras para la mitigación, o control, o estabilización por procesos de origen natural.
PROFESIONAL No. 7 INGENIERO FORESTAL	1	25%	**INGENIERO FORESTAL O ECÓLOGO O EDAFÓLOGO O AGRÓNOMO O BIÓLOGO** **EN CUALQUIERA DE LAS CITADAS FORMACIONES ACADÉMICAS DEBERÁ CONTAR CON POSTGRADO EN RECURSOS HIDRICOS O RECURSOS AMBIENTALES O ÁREA FORESTAL O GEOTECNIA AMBIENTAL O ÁREAS AMBIENTALES**	**Experiencia Profesional** de **CUATRO (04) AÑOS** contada a partir de la expedición de la tarjeta profesional. **Experiencia Específica** mínima certificada en **DOS (2) AÑOS** como **ESPECIALISTA FORESTAL** en proyectos relacionados con **Estudios de: amenaza, vulnerabilidad y riesgo, o diseños de obras para la mitigación, o control, o estabilización por procesos de origen natural.**
PROFESIONAL No. 8 PROFESIONAL EN SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO	1	25%	**PROFESIONAL** **TITULO DE POSTGRAGO SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO O EN GESTIÓN DE LA CALIDAD SALUD OCUPACIONAL Y MEDIO AMBIENTE O EN GERENCIA EN RIESGOS LABORALES, SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO O GERENCIA INTEGRAL DEL RIESGO, SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO O GERENCIA EN SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO O GESTIÓN DE LA SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO O ADMINISTRACIÓN DE SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO**	**Experiencia Profesional** de **CUATRO (04) AÑOS** contada a partir de la expedición de la tarjeta profesional o título profesional según corresponda. **Experiencia Específica** mínima certificada de **DOS (2) AÑOS** como **AUXILIAR O COORDINADOR EN SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO** **El profesional deberá contar con Licencia para la prestación de Servicios en Seguridad y Salud en el Trabajo.** **La experiencia específica será contada a partir de la obtención de la Licencia.**

			O SISTEMAS INTEGRADOS DE SEGURIDAD, SALUD OCUPACIONAL AMBIENTAL Y CALIDAD O GERENCIA DE LA SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO	
PROFESIONAL No. 9 INGENIERO CIVIL	1	80%	**INGENIERO CIVIL**	**Experiencia Profesional** de **DOS (02) AÑOS** contada a partir de la expedición de la tarjeta profesional. **Experiencia Específica** certificada de **UN (1) AÑO** como **INGENIERO CIVIL** en proyectos relacionados con "**Estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por procesos de origen natural y/o diseños de obras para la mitigación del riego por procesos de origen natural".**

1.2. TRANSPORTE

Con base en la Resolución CAR No. 1044 del 28 de junio del 2013 "*Por la cual se adopta una guía técnica de referencia para determinar los costos de los servicios de consultoría de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca-CAR*", el transporte debe cumplir con las siguientes especificaciones técnicas:

- Modelo mínimo: 2.016 o superior, en buenas condiciones.
- Motor a Diésel, gasolina, gas vehicular, gas vehicular-gasolina, eléctrico-gasolina o eléctrico.
- Cilindraje mínimo. 1.300 cc
- Tracción 4X4
- Dirección Hidráulica
- Capacidad mínima: 5 Pasajeros, incluido el conductor
- Cinturones de seguridad de tres (3) puntos en todos los asientos
- Apoyo cabezas
- Radio USB
- Aire Acondicionado
- Placa de servicio publico
- Dispositivo de velocidad
- Sistema de GPS

NOTA: El transporte incluido en la presente propuesta es para uso exclusivo de los desplazamientos del personal para la ejecución del contrato.

1.3. PROSPECCIÓN

- ***Perforaciones mecánicas por rotación diámetro NQ con ensayo SPT***

La exploración del subsuelo es una etapa que, por su importancia y su costo relativo en los estudios, conviene definir de manera cuidadosa. El plan de exploración se determina a partir de los mapas de UGI y de elementos geomorfológicos, lo cual permitirá, a partir de los ensayos de laboratorio, definir los parámetros mecánicos del modelo geológico-geotécnico, para el análisis de amenaza básica a escala 1:2000. De conformidad con lo anterior, la exploración del subsuelo se debe diseñar con este enfoque, que en términos generales contempla exploración básica (escala 1:2000), en la que se busca caracterizar las

unidades geológicas y geomorfológicas encontradas. En todo caso se debe incluir la cantidad mínima contratada para este tipo de estudios.

Con base en la información geológica y geomorfológica y las condiciones generales observadas durante el reconocimiento geotécnico detallado que deberá hacer el Consultor, se definirá el programa de exploración del subsuelo con el fin de identificar la distribución y las características de las unidades superficiales, los materiales de transición y las formaciones presentes en el área y de obtener muestras representativas para la caracterización físico-mecánica de tales materiales. Esta información debe ser suficiente para poder caracterizar todos los materiales que se involucren en los análisis de estabilidad y de manera especial aquellos que se vean afectados por procesos de inestabilidad.

La investigación de materiales implicará un programa razonable de exploración directa, mediante sondeos mecánicos por rotación en diámetro NQ con el objetivo de identificar macizo rocoso sano mediante el criterio del RQD > 75% o similar, adecuadamente distribuidos sobre el área de manera que permita garantizar la obtención de la información requerida para completar los modelos geológico – geotécnicos propuestos.

El trabajo de campo se complementará con un programa de ensayos de laboratorio (propiedades índices y mecánicas) que permitan establecer adecuadamente, las características esfuerzo-deformación y resistencia de los materiales involucrados si los mecanismos de falla identificados así lo exigen.

Los parámetros obtenidos deberán ser además compatibles con las exigencias de las herramientas analíticas que se empleen para evaluar cuantitativamente los procesos de inestabilidad de interés, sobre los modelos geológicos-geotécnicos propuestos.

Para la exploración geotécnica se deberán tener en cuenta los siguientes aspectos:

1. La ubicación de los sondeos mecánicos deberá justificarse en términos del adecuado cubrimiento de las áreas de interés, incluyendo las áreas de influencia (de presentarse alguna condición particular que impida llevar a cabo este número de sondeos se deberá presentar la justificación técnica). La exploración deberá soportar adecuadamente el modelo geológico- geotécnico de cada sector o zonas de interés.

2. El uso de correlaciones para la determinación de los materiales a partir de pruebas de campo de uso frecuente no es restringido, sin embargo, se entiende que la pertinencia, validez y confiabilidad de su uso en un problema específico es responsabilidad total del ejecutor del estudio.

En suelos granulares se deberán realizar ensayos de penetración estándar (SPT) para estimación indirecta de parámetros efectivos de resistencia al corte, pero no se aceptará esta estimación para el caso de suelos finos cohesivos, rellenos heterogéneos y roca meteorizada; durante la exploración se puede emplear el penetrómetro de bolsillo únicamente para obtener y manejar datos cualitativos de referencia, pero no para obtener o adoptar parámetros de resistencia de los materiales.

Para el desarrollo de esta actividad se debe tener en cuenta las normas y especificaciones técnicas del INVIAS-2012 así:

SECCIÓN 100-SUELOS

(…)

I.N.V. E - 102	*DESCRIPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE SUELOS (PROCEDIMIENTO VISUAL Y MANUAL)*
I.N.V. E - 103	*CONSERVACIÓN Y TRANSPORTE DE MUESTRAS DE SUELOS*
I.N.V. E - 104	*TOMA DE MUESTRAS INALTERADAS DE SUELO EN SUPERFICIE*
I.N.V. E - 105	*OBTENCIÓN DE MUESTRAS DE SUELO MEDIANTE TUBOS DE PARED DELGADA*
I.N.V. E - 106	*PREPARACIÓN EN SECO DE MUESTRAS DE SUELO POR VÍA SECA PARA ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO Y DETERMINACIÓN DE LAS CONSTANTES FÍSICAS*

I.N.V. E - 107	*PREPARACIÓN EN SECO DE MUESTRAS DE SUELO POR VÍA HÚMEDA PARA ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO Y DETERMINACIÓN DE LAS CONSTANTES FÍSICAS*
I.N.V. E - 108	*PERFORACIONES CON BROCAS Y MUESTREO PARA INVESTIGACIONES EN EL SITIO*
I.N.V. E - 109	*MUESTREO DE SUELOS CON TUBO PARTIDO DE PARED GRUESA Y REVESTIMIENTO DE ANILLOS*
I.N.V. E - 111	*ENSAYO NORMAL DE PENETRACIÓN (SPT) Y MUESTREO DE SUELOS CON TUBO PARTIDO*
I.N.V. E - 112	*EXPLORACIÓN Y MUESTREO DE SUELOS MEDIANTE BARRENAS*
(…)	

1.4. ENSAYOS DE LABORATORIO

De acuerdo con los resultados de la exploración del subsuelo y de las características de los materiales encontrados, se deberá formular un plan de ensayos de laboratorio que permita hacer una adecuada caracterización geomecánica de los diferentes materiales presentes en el área. Con base en la información previa y en la visita de reconocimiento al sitio, el Consultor deberá presentar en su propuesta el plan de ensayos.

A partir de la integración de la información sobre los aspectos geológicos y geomorfológicos, de exploración del subsuelo y de resultados de ensayos de laboratorio, se deberán delimitar las zonas homogéneas en términos de su comportamiento geotécnico.

El fin principal de los ensayos de laboratorio en geotecnia, es la determinación de las propiedades físico-mecánicas de los materiales que serán afectados por una actuación en la que hay una serie de solicitaciones y esfuerzos.

Los ensayos más importantes son los siguientes:

- **Ensayos de clasificación**

Los ensayos básicos para caracterizar un suelo son los llamados ensayos de clasificación, los cuales corresponden a contenido de agua (humedad natural), granulometría, peso unitario y límites de Atterberg. Estos ensayos son fundamentales a fin de determinar las propiedades físicas de un suelo determinando y su tipo (grava, arena, limo o arcilla) y a partir de éstos se orientará el informe geotécnico aplicando el método adecuado en cada caso.

- **Rotura a compresión simple**

El objeto de este ensayo es determinar la resistencia a compresión simple de una probeta cilíndrica de suelo sometida a una carga axial. El ensayo de compresión simple se realiza sin confinamiento lateral ($\sigma 3=0$), y sin drenaje, es decir es un ensayo rápido en el que no se deja que el agua de los poros salga (disipación de presión neutra o intersticial).

- **Ensayo de corte directo**

Este ensayo consiste esquemáticamente romper una pastilla de suelo por medio de esfuerzos tangenciales. El ensayo de corte directo es un procedimiento utilizado para determinar las componentes del esfuerzo de corte de un suelo, es decir, la cohesión y el ángulo de rozamiento interno.

De acuerdo con lo anterior para la ejecución de los ensayos de laboratorio se debe seguir y tener en cuenta las normas y especificaciones técnicas del INVIAS-2012 así:

Tabla 1. Normas técnicas para ensayos de laboratorio

3.2	Ensayos de laboratorio	Unidad	Norma técnica
3.2.1	Límites de Atterberg	UN	INV E-126, INV-E-125, NTC-4630
3.2.2	Granulometría por tamizado con lavado	UN	INV E-123, NTC-1522
3.2.3	Humedad	UN	INV E-102, NTC 1495
3.2.4	Compresión inconfinada	UN	INV E-152, NTC 1527
3.2.5	Peso unitario	UN	INV E-141, ASTM D-7263
3.2.6	Corte directo	UN	INV E-154, NTC 1917

1.5. TOPOGRAFIA Y TOPOBATIMETRIA

- ***Levantamiento con Lidar aéreo, escala 1:2000 o mayor exactitud (incluye puntos de fotocontrol, Aerofotografía, fotocontrol, ortofotomosaico y DTM), Imagen satelital y/o fotografía aérea en escala 1:25000 o mayor exactitud y Topobatimetria (Aerofotografía, fotocontrol, ortofotomosaico y DTM) km***

Actualmente se realizan levantamientos topográficos convencionales mediante instrumentos ópticos y/o por medio de métodos satelitales, así como levantamientos aéreos a través de la captura de imágenes y/o por medio de escáner láser.

Sin embargo, la escasa cobertura de los levantamientos topográficos tradicionales no entrega una solución final para aquellos proyectos que requieran abarcar áreas extensas y complejas. Por otro lado, la aerofotogrametría y la tecnología aérea LIDAR (Light Detection and Ranging) necesitan de grandes extensiones para que su uso sea rentable.

En este contexto, los UAV son una alternativa para aquellos proyectos que demanden representar una porción de terreno extremadamente grande para la topografía convencional y de escaso acceso para algunos sistemas aéreos.

Con la metodología de toma de imágenes aéreas se puede generar el modelo digital de terreno como lo ha venido realizando el IGAC durante mucho tiempo, se pueden emplear diversos tipos de tecnología para realizar levantamientos hidrotopográficos tales como UAV o LIDAR o cualquier otro sensor remoto. En cualquier caso, es necesario establecer puntos de control terrestre y para cada toma de cada fotografía aérea y punto LIDAR se registrarán los datos de GPS e IMU.

Para esta actividad y para los estudios de amenaza a escala 1:2.000 se realizará el respectivo levantamiento topográfico de las zonas urbanas, centros poblados rurales y de expansión urbana. Para tal fin los mapas deberán tener curvas de nivel cada dos (2) metros o menores si se realiza a escala más detallada. En general se recomienda la realización de la foto-restitución del casco urbano. Para tal fin se deberán definir puntos de control con GPS de doble frecuencia. La foto-restitución deberá estar amarrada al sistema de coordenadas geográficas de IGAC MAGNA – SIRGAS, para lo que se localizará un mojón certificado del IGAC, en caso de no encontrar este punto, se establecerá un nuevo mojón con las especificaciones IGAC y así obtener la certificación oficial por parte de esta entidad. En caso de generarse un nuevo punto, se entregará la respectiva ficha de localización de los mojones nuevos. Se efectuará la verificación y/o ajuste de plano con referencia a las planchas catastrales del IGAC, en casos de que existan.

Para los estudios a escala 1:2.000 se realizará el levantamiento batimétrico a detalle, con el fin de poder generar secciones de los cauces de los ríos y quebradas y realizar los modelos hidráulicos.

Para los estudios a escala 1:25.000 se podrán utilizar MDT (modelos digitales de terreno) a la escala correspondiente, para tal fin los mapas deberán tener curvas de nivel cada veinticinco (25) metros o menores si se realiza a escala más detallada.

De igual manera se deben levantar secciones típicas de los cauces con el fin de generar un vaso representativo, el cual se debe corregir dentro del MDT.

En el caso de contar con una estación limnimétrica o limnigráfica en el sitio de interés con datos históricos de caudal máximo instantáneo, se toman sus valores máximos instantáneos anuales, se ajustan a distribuciones probabilísticas conocidas, y se hacen inferencias estadísticas.

Se debe tener en cuenta que los caudales máximo-instantáneos son los valores de caudal máximo que cruzan por una sección hidrométrica en una corriente, y son registrados en estaciones limnigráficas o limnimétricas a través de datos de lecturas de miras máximas instantáneas, integradas con la respectiva curva de calibración de caudales líquidos.

Se debe tener en cuenta que las estaciones limnimétricas solamente se pueden calcular valores puntuales de caudal en las horas del día en las cuales se leen las lecturas de mira de estas.

Se debe desarrollar captura de fotografías aéreas con vehículo aéreo no tripulado y fotointerpretación de la zona de estudio, toma de fotocontrol, aerotriangulación, restitución fotogramétrica, generación de DTM, ortofotomosaico, anáglifos, fotografías oblicuas, identificación de obras de infraestructura y procesos denudativos.

Se debe realizar topografía de las áreas de interés, debe incluir la localización planimétrica y altimétrica de todos los detalles relevantes tales como paramentos, redes de servicios públicos, viviendas, cercas, cauces, estructuras, andenes, sardineles, vías, sumideros, separadores, árboles, postes de energía, postes de teléfono, pozos y en general la información existente en terreno. Se incluirán curvas de nivel cada 2 m o mejor. Se deberán materializar en campo mojones georreferenciados en Sistema de Referencia Espacial MAGNA SIRGAS del IGAC, con coordenadas debidamente certificadas por esta entidad. Se debe presentar en formato raster, .shp y .dwg, georrefenciada en origen único Magna Sirgas.

Se deben realizar batimetrías en los cauces principales, afluentes de las cuencas priorizadas y a los afluentes localizados a la salida de la misma con rangos entre 25 y 100 m, en común acuerdo. Para lo anterior se debe considerar la morfodinámica de los cuerpos de agua y el régimen de variación de los niveles, anual y multianual y en todo caso ser complementado con el levantamiento topográfico. El levantamiento batimétrico debe incluir la localización planimétrica y altimétrica de todos los detalles relevantes tales como, redes de servicios públicos, viviendas, estructuras, vías, puentes, alcantarillas, bateas, sumideros, árboles, postes de energía, postes de teléfono, pozos y en general la información existente en terreno que pueda generar cambio en la hidráulica de las fuentes hídricas. Se incluirán curvas de nivel cada 0.1 m. las batimetrías deberán abarcar secciones transversales de 100 m de longitud a lado y lado de cada fuente. La batimetría del cauce de los cuerpos hídricos se deberá realizar por el método apropiado para la elaboración de modelos hidráulicos detallados. En la topobatimetría se deberán materializar en campo mojones georreferenciados en Sistema de Referencia Espacial MAGNA SIRGAS del IGAC, con coordenadas debidamente certificadas por esta entidad. La topobatimetría deberá presentarse en formato raster, .shp y .dwg, georrefenciada en origen único Magna Sirgas.

Para especificaciones técnicas no definidas en este documento se debe remitir a la Resolución No. 197 de 2022.

NOTA: El Consultor debe contar con todos los permisos, autorizaciones y certificaciones para el desarrollo de cada una de las actividades mencionadas.

2. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE ZONIFICACIÓN DE AMENAZA, CONDICIÓN DE AMENAZA Y RIESGO

El presente documento, presenta las condiciones y especificaciones técnicas mínimas requeridas para la zonificación de amenaza, condición de amenaza y riesgo por procesos de movimientos en masa, inundación, avenida torrencial e incendios forestales en zonas rurales, urbana, expansión urbana y centros poblados de los entes territoriales y contiene entre otros lo siguientes:

a) La delimitación y zonificación de las áreas de amenaza;

b) La delimitación y zonificación de las áreas con condición de amenaza en las que se requiere adelantar los estudios detallados.

c) La delimitación y zonificación de las áreas con condición de riesgo en las que se requiere adelantar los estudios detallados.

d) La determinación de las medidas de intervención, orientadas a establecer restricciones y condicionamientos mediante la determinación de normas urbanísticas.

Los soportes técnicos, están ajustados a las diferentes normativas y guías o documentos que las diferentes entidades han emitido en los últimos años, por lo anterior y en todo caso, el desarrollo de los productos debe estar alineados con lo dispuesto en el Decreto No.1077 de 2015 del Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio de Colombia.

2.1. PRODUCTOS

El contratante debe entregar los siguientes productos.

a. Cronograma detallado de actividades, presentación de la metodología y plan de trabajo y documento diagnóstico para el desarrollo de las actividades en los municipios priorizados de acuerdo con los lineamientos establecidos en el Decreto1807 de 2014 compilado e el Decreto No. 1077 de 2015 y en el Anexo Técnico (Especificaciones Técnicas Detalladas).
b. Mapas de amenaza a escala 1:25:000 (movimientos en masa, inundación, avenida torrencial e incendios forestales de los municipios priorizados, con sus respectivos anexos.
c. Mapas de amenaza escala 1:2000 (movimiento en masa, inundación y avenida torrencial) de los municipios priorizados, con sus respectivos anexos.
d. Mapas de condición de amenaza y condición de riesgo teniendo en cuenta los elementos vulnerables a escala 1:25.000 para la zona rural de los municipios priorizados con sus respectivos anexos.
e. Mapas de condición de amenaza y condición de riesgo teniendo en cuenta los elementos vulnerables a escala 1:2000 para la zona urbana, expansión y centros poblados de los municipios priorizados con sus respectivos anexos.
f. Medidas de intervención, orientadas a establecer restricciones y condicionamientos mediante la determinación de normas urbanísticas de los municipios priorizados con sus respectivos anexos.
g. Proyección de estudios de detalle incluyendo referencia cartográfica de los municipios priorizados con sus respectivos anexos.
h. Informe técnico que consolida las actividades desarrolladas y los resultados obtenidos de los municipios priorizados.

NOTA 1. Los informes deberán ser presentados en un (1) Original y una (1) copia en medio impreso y dos (2) copias del informe total en medio magnético en formato PDF.

NOTA 2. Toda la información debe ser presentada en Idioma Castellano.

NOTA 3. Cada uno de los informes deberá ser presentado conforme a lo establecido en las Especificaciones Técnicas Detalladas.

2. Escala de trabajo

Tabla 1. Escalas de trabajo para zonificación de amenaza

TIPO DE ESTUDIO	CLASE DE SUELO	ESCALA
Estudio Básico	Urbano y centros poblados	1 :2.000
	Expansión Urbana	1 :2.000
	Rural	1 :25.000

Fuente: MADS 2014

2.2. METODOLOGÍA PARA ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR PROCESOS DE MOVIMIENTO EN MASA

Para la obtención final de los mapas de amenaza, el Consultor deberá desarrollar diferentes actividades, las cuales, estarán soportadas en la presentación de una base de datos o cartografía, que debe contener insumos intermedios o finales aportador por el contratista.

Por otro lado, para la elaboración de los estudios básicos de riesgo, el consultor deberá tener como referencia las siguientes metodologías establecidas:

1. DOCUMENTO METODOLÓGICO DE LA ZONIFICACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD Y AMENAZA RELATIVA POR MOVIMIENTOS EN MASA ESCALA 1:500.000, del Servicios Geológico Colombiano – SGC.
2. GUÍA METODOLÓGICA PARA ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, del Servicios Geológico Colombiano – SGC.
3. GUÍA METODOLÓGICA PARA LA ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA ESCALA 1: 25.000, del Servicios Geológico Colombiano – SGC.
4. GUÍA METODOLÓGICA PARA ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES, del Servicios Geológico Colombiano – SGC.
5. GUÍA METODOLÓGICA PARA LA ELABORACIÓN DE MAPAS DE INUNDACIÓN, del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM.
6. PROTOCOLO DE MODELACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA, del Distrito de Bogotá.
7. PROTOCOLO DE ZONIFICACIÓN DE RIESGOS A INCENDIOS DE LA COBERTURA VEGETAL de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR y el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM.

2.2.1. Insumos

a) Cartografía base que contenga entre otros: coordenadas, curvas de nivel, drenajes, red vial, infraestructura y equipamientos, asentamientos humanos;

b) Inventario de procesos morfodinámicos.

En la elaboración de los estudios para suelos urbanos y de expansión urbana, adicionalmente se elabora: la geología para ingeniería y la geomorfología aplicada a movimientos en masa a nivel de elementos geomorfológicos.

En la elaboración de los estudios para suelos rurales, adicionalmente se realiza: la geología, unidades geológicas superficiales, la geomorfología aplicada a movimientos en masa a nivel de subunidades geomorfológicas y cobertura y uso del suelo.

c) Se deben considerar dentro de los agentes detonantes los siguientes factores: agua, sismo y procesos antrópicos (cortes, excavaciones, rellenos y construcciones en general).

d) Geotecnia

La evaluación de la amenaza parte de la susceptibilidad que evalúa la distribución de movimientos en masa en ladera y procesos de vertientes generadores de desequilibrio morfogenético, tomando en consideración el enfoque geomorfológico, cuyo objetivo es determinar la variación espacial de la inestabilidad de las laderas y su representación cartográfica mediante el mapa de susceptibilidad geomorfológica.

La evaluación de la susceptibilidad se fundamenta en el análisis y espacialización de factores ambientales que inciden en la estabilidad de las vertientes, la relación entre estos factores que evaluados por separado y luego se integran para obtener una visión general del área.

Para la obtención de la amenaza se requiere del análisis de agentes antrópicos y naturales en relación con los procesos ocurrentes en cada zona.

2.2.2. Especificaciones técnicas escala rural 1:25000

Tener en cuenta y aplicar lo establecido en la **"**GUÍA METODOLÓGICA PARA LA ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA ESCALA 1: 25.000" del Servicio Geológico Colombiano-SGC versión año 2017 y lo dispuesto en este documento así:

Se desarrollará el método estadístico, el cual se refiere al cálculo de la densidad en los deslizamientos, para cada unidad geomorfológicamente homogénea o para determinados rangos de factores determinantes de la estabilidad. La densidad de los deslizamientos se toma típicamente, como el porcentaje del área que es ocupada por éstos.

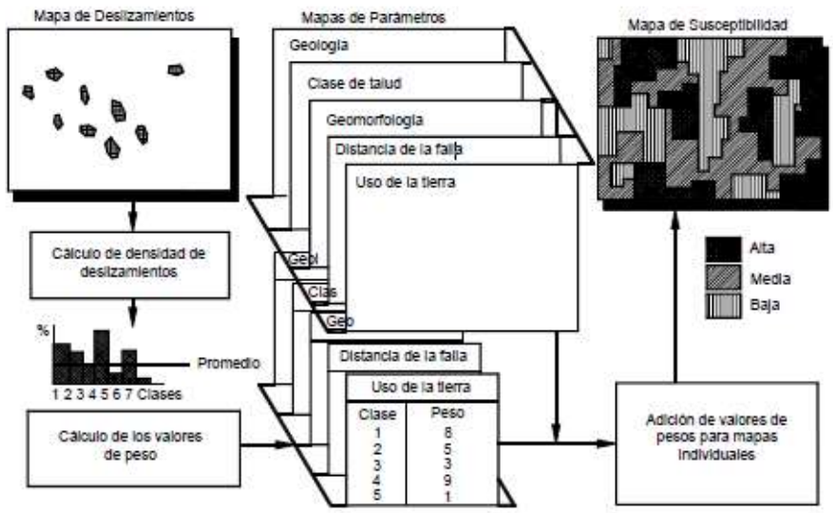
El método estadístico superpone mapas de parámetros y mapas de unidades homogéneas al mapa de inventario de deslizamientos y calcula las densidades del deslizamiento.

Luego el mapa de distribución de deslizamientos se combina con los diversos parámetros dentro de una grilla o matriz, la cual se analiza mediante el análisis de regresión múltiple o discriminante. Este modelo se basa en la suposición, que un área donde han ocurrido deslizamientos posee un ambiente susceptible para la ocurrencia de nuevos deslizamientos de forma similar a los deslizamientos históricos.

Estos ambientes son identificados por factores que afectan la ocurrencia de los deslizamientos como la litología, el uso de la tierra, las pendientes, las isoyetas de lluvias, etc. (Lan y otros, 2004). Los valores de pesos de cada factor pueden basarse en la experiencia del profesional especializado, o en el análisis estadístico independiente para cada factor utilizando el inventario de deslizamientos.

Otro análisis muy importante es la determinación de la distribución del tamaño y la frecuencia de los deslizamientos. Tanto el tamaño como la frecuencia son factores significativos del riesgo asociado. Los deslizamientos grandes comúnmente generan riesgos grandes y los pequeños, generan riesgos menores.

Figura 1. Uso de SIGs para el análisis estadístico bivariado, en la elaboración de mapas de susceptibilidad (Soeters y Van Westen, 1996)



Este método está basado en la siguiente fórmula:

$$\ln W_i = \ln\left(\frac{\text{Densclas}}{\text{Densmap}}\right) = \ln\left(\frac{\frac{\text{Npix(Si)}}{\text{Npix(Ni)}}}{\frac{\sum \text{Npix(Si)}}{\sum \text{Npix(Ni)}}}\right)$$

donde,
Wi = La ponderación dada a una cierta clase de parámetro (p.e. un tipo de roca, o una clase de pendiente).
Densclas = el grado de deslizamiento dentro de la clase de parámetro.
Densmap = el grado de pendiente de todo el mapa.
Npix(Si) = número de pixeles, los cuales contienen los deslizamientos, dentro de una cierta clase de parámetro.
Npix(Ni) = número total de pixeles dentro de una cierta clase de parámetro.

El método está basado en un cruce de un mapa de deslizamiento con un cierto mapa de parámetro. El cruzamiento del mapa resulta de una tabla de cruce, que puede ser usada para calcular el grado de deslizamiento por clase de parámetro. Una estandarización del grado de deslizamiento puede obtenerse relacionando la totalidad de grados presentes en el área. La relación puede estar hecha por división o sustracción. En este ejercicio el grado de deslizamiento por clase está dividido por el grado de deslizamiento del área total. El logaritmo natural es usado para dar un peso negativo cuando el grado de deslizamiento es más bajo de lo normal, y positivo cuando sea más alto de lo normal. Combinando dos o más mapas

ponderados puede ser creado un mapa de amenaza. Los valores del mapa de amenaza se obtienen por una simple adición separada de los valores de ponderación.

- **Cálculo del Coeficiente de Certeza (CF) para cada Factor Básico**

El coeficiente de certeza es una función de favorabilidad, lo cual permite manejar el problema de la heterogeneidad y de la incertidumbre de la información de entrada de los modelos. El CF como función de probabilidad, donde ppa es la probabilidad condicional de que ocurra un número determinado de eventos de deslizamiento para un determinado valor de un parámetro y pps (Probabilidad anterior) es la probabilidad de que ocurra un número total de deslizamientos en el área de estudio A.

El rango de variación del coeficiente CF es de -1.0 a + 1.0. El mayor valor positivo indica el aumento de la certeza en la ocurrencia de deslizamientos, mientras los valores negativos, indican una disminución de la certeza. Un valor cercano a 0.0 significa que la probabilidad anterior es muy similar a la probabilidad condicional, es decir, que es muy difícil dar una indicación de la ocurrencia de deslizamientos. Cada valor de un factor tiene un determinado coeficiente de certeza (CF).

Los factores de favorabilidad (ppa, pps) se obtienen de superponer cada capa de datos en el mapa de inventario de deslizamientos en ArcGIS y de calcular la frecuencia de ocurrencia de los deslizamientos. Los valores de CF se calculan para cada valor de los parámetros básicos (Litología, estructura, pendiente etc.).

- **Parámetros incluidos en la elaboración de los mapas**

Tabla 2. Parámetros para la aplicación de la metodología (Ajustado de Soeters y Van Westen, 1996)

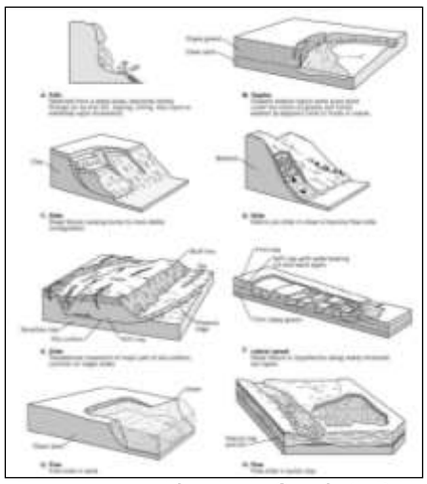
MAPA	PARÁMETROS	
DENSIDAD DE DESLIZAMIENTOS	GEOLOGÍA	Geología (UGI)
		Resistencia
		Fábrica
		Densidad de fracturamiento
	GEOMORFOLOGÍA	Morfogénesis (UGI)
		Morfometría (Pendiente)
		Morfodinámica (inventario de procesos)
	DRENAJE	Densidad de drenaje
	COBERTURA	Cobertura vegetal de la tierra
	SISMO	Sismos
	LLUVIA	Precipitaciones

- **Morfodinámica (Inventario de procesos de movimiento en masa)**

Con el fin de realizar la calibración del mapa de amenaza de áreas homogéneas, se identificaron y clasificarán los diferentes procesos que afectan la estabilidad del sitio en estudio.

Para la clasificación de los movimientos en masa se presenta el sistema propuesto por Varnes (1978), el cual tipifica los principales tipos de movimiento.

Figura 2. Clasificacion de movimientos en masa Cruden y Varnes, 1978



Fuente: Tomado y modificado de Cornforth D.H. (2005)

Los movimientos en masa son los desplazamientos de masas de suelo, causados por exceso de agua en el terreno y por efecto de la fuerza de gravedad. Los movimientos en masa son procesos esencialmente gravitatorios, por los cuales una parte de la masa del terreno se desplaza a una cota inferior de la original sin que interfiera ostensiblemente algún medio de transporte, siendo tan solo necesario que las fuerzas estabilizadoras sean superadas por las desestabilizadoras.

El estudio de la morfodinámica tiene como énfasis la caracterización de los procesos que tienen lugar en la actualidad. La caracterización y calificación de la morfodinámica en este documento se hace en referencia a la identificación de procesos de remoción en masa.

Las zonas montañosas colombianas presentan una gran diversidad de rasgos litoestratigráficos, climáticos y pedológicos, que generan la ocurrencia de procesos morfodinámicos, que muchas veces, impactan de forma negativa a la sociedad.

La acción combinada de los mecanismos de transporte, tales como el agua de escorrentía, el hielo y viento, ligados a los diversos procesos de desintegración de rocas, provocan una gran variedad de procesos de remoción en masa. Esta diversidad es aún mayor si se toma en cuenta la influencia de las condiciones del subsuelo, las pendientes del terreno y todos los factores asociados a las formas de usos y ocupación del territorio.

En un sentido más restrictivo, la morfodinámica **Tabla 3** orientada a procesos de remoción en masa se refiere a los procesos denudativos e hidro-gravitatorios formadores de laderas, los cuales se caracterizan por la ocurrencia de procesos de remoción en masa.

Tabla 3. Calificación de la inestabilidad de laderas (susceptibilidad morfodinámica a los procesos de remoción en masa)

Clasificación de la inestabilidad de laderas para cada geoforma
Inactivo: No presenta movimientos en la actualidad
Poco activo: Presenta poco movimiento y/o flujos estabilizados en la actualidad
Moderadamente activo: Presenta movimientos activos de forma ocasional
Activo: Presenta movimientos activos e inactivos de forma generalizada en la unidad
Muy activo: Presenta movimientos mayormente activos y generalizados en la unidad

Fuente: IDEAM

Figura 3. Uso de SIGs para el análisis de distribución de deslizamientos (Soeters y Van Westen, 1996)

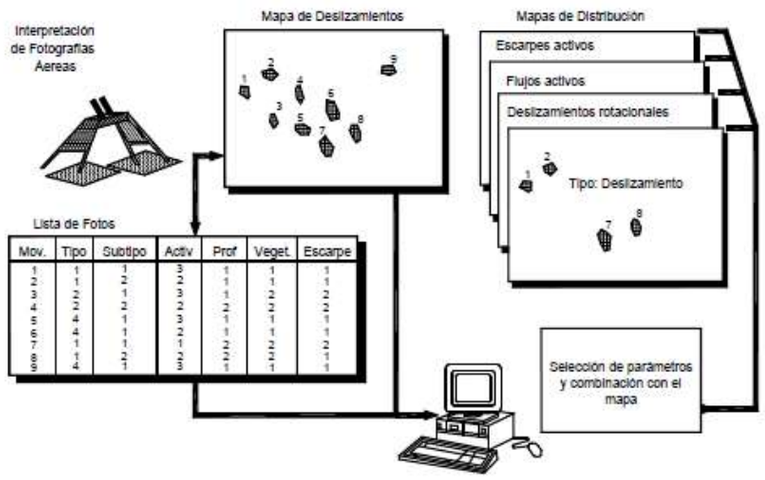
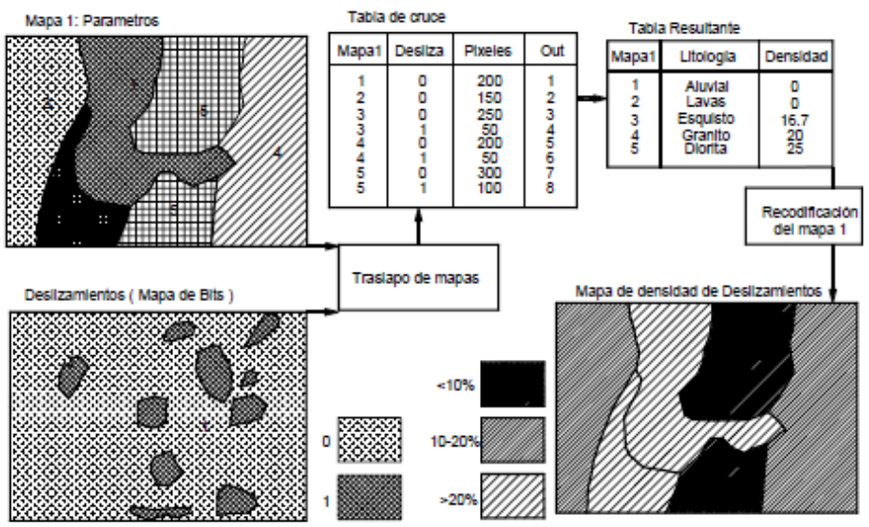


Figura 4. Uso de SIGs para el análisis de distribución de deslizamientos (Soeters y Van Westen, 1996)



- Análisis de detonantes

- ✓ Detonante clima (Lluvia máxima en 24 horas tr 50)
- ✓ Detonante por sismo

De acuerdo con la metodología establecida, los mapas de amenaza relativa son el resultado de la suma del mapa de susceptibilidad y el mapa de cada factor detonante. De esta forma, se obtienen dos escenarios de amenaza, el primero detonado por factores climáticos y el segundo detonado por el factor de sismo. A su vez, la amenaza relativa total por procesos de movimiento en masa se obtiene mediante la suma de los mapas de amenaza detonados por factores climáticos y detonados por el factor de sismo.

Se calcula

- A_T= área total de la zona
- A_{pe}= área total afectada por procesos erosivos
- El área de cada una de las clases en los mapas empleados (UGI, geomorfológico, pendientes, etc)

$\mathbf{A_{TC}}$ = Área total de clase.

- $\mathbf{A_{pec}}$= área afectada por procesos erosivos en cada una de las clases de cada uno de los mapas de factores.
- La densidad de procesos erosivos en toda la zona y en cada clase de mapa de factores según la ecuación:
  $\mathbf{d_T = A_{pe} / A_T * 100}$, en donde:
  $\mathbf{d_T}$= Densidad de procesos erosivos en toda la zona

$$\mathbf{d_i = A_{pec} / A_{TC} * 100,}$$ en donde:

$\mathbf{d_{ci}}$= Densidad de procesos erosivos en cada clase

- Los valores de peso para cada mapa de factores, mediante la fórmula
  $w_{ci} = \mathbf{d_{ci}} - \mathbf{d_T}$, en donde:
  w_{ci} = Valor de peso para cada clase
  $\mathbf{d_{ci}}$ = Densidad de procesos erosivos en cada clase
  $\mathbf{d_T}$ = Densidad de procesos erosivos en toda la zona

Posteriormente se suman los valores de peso de los mapas individuales para obtener un único mapa de valores de peso y se reclasifica el mapa de valores de peso en grados de amenaza:

- Amenaza alta
- Amenaza media
- Amenaza baja

Por último, se obtiene el Mapa de zonificación de amenaza por Procesos de inestabilidad (Método estadístico Bivariado). Resumiendo lo anterior se puede hacer mediante la implementación del SIG asï:

$$\ln W_i = \ln\left(\frac{\text{Densclas}}{\text{Densmap}}\right) = \ln\left(\frac{\frac{\text{Npix(Si)}}{\text{Npix(Ni)}}}{\frac{\sum \text{Npix(Si)}}{\sum \text{Npix(Ni)}}}\right)$$

donde,
Wi = La ponderación dada a una cierta clase de parámetro (p.e. un tipo de roca, o una clase de pendiente).
Densclas = el grado de deslizamiento dentro de la clase de parámetro.
Densmap = el grado de pendiente de todo el mapa.
Npix(Si) = número de pixeles, los cuales contienen los deslizamientos, dentro de una cierta clase de parámetro.
Npix(Ni) = número total de pixeles dentro de una cierta clase de parámetro.

NOTA// En todo caso para la elaboración de la zonificación de la amenaza, y de cada uno de los insumos propuestos en este documento, debe tener en cuenta como base lo dispuesto en la "GUÍA METODOLÓGICA PARA LA ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA ESCALA 1: 25.000" del Servicio Geológico Colombiano-SGC versión año 2017.

2.2.3. Especificaciones técnicas específicas escala urbana, expansión urbana y centros poblados 1:2000

Para la elaboración de los estudios básicos, escala 1:2000 los "insumos" son en términos de cartografía base y de inventario de procesos morfodinámicos. Para el proceso metodológico, tales insumos forman parte de los factores condicionantes de la amenaza. El alcance del análisis de amenaza en lo relacionado con la integración de las variables que inciden en la ocurrencia, tanto actual como futura de los procesos de inestabilidad, se deben considerar como agentes detonantes el agua, el sismo y los factores antrópicos, y se debe plantear un análisis determinístico. Los factores antrópicos se incluyen en forma implícita o condicionante en la topografía y en la cobertura y uso del suelo. A continuación, se presenta un diagrama conceptual de las actividades que se deben efectuar para zonificar la amenaza por movimientos en masa.

Estos factores comprenden geología para ingeniería, geomorfología de elementos geomorfológicos y cobertura y uso del suelo, así como elementos geotécnicos. Para elaborar la zonificación se debe contar con la cartografía básica, el modelo digital del terreno y los sensores remotos (fotografías aéreas, ortofotos, imágenes de satélite, entre otros) disponibles, todos a la escala adecuada.

Se debe tener en cuenta como base la "GUÍA METODOLÓGICA PARA ESTUDIOS DE AMNEAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA", *del Servicio Geológico Colombiano - SGC a escala 1:2000* y lo dispuesto en este documento así:

Geología

La geología como factor condicionante de muchas de las amenazas naturales, cumple un papel determinante en los procesos de predicción de PRM, por tanto, el siguiente análisis intenta hacer énfasis en determinar las zonas con mayor probabilidad de ocurrencia de movimientos en masa teniendo en cuenta la distribución espacial de las unidades geológicas superficiales y su comportamiento geomecánico.

Un mapa de geología para ingeniería es un tipo de mapa geológico que muestra información sobre la distribución y propiedades físicas y mecánicas de las rocas y los suelos, el agua subterránea, las características del relieve y los procesos geodinámicos actuales, que son considerados los componentes básicos del ambiente geológico, de suma importancia en estudios de geología aplicada a la ingeniería.

Los mapas de geología para ingeniería se pueden elaborar a partir de las Unidades de Geología para Ingeniería (UGI), que son el insumo más importante desde el punto de vista de homogeneización de las características ingenieriles de los materiales del área de estudio.

Las UGI permiten diferenciar tres aspectos fundamentales para obtener los modelos que permitan realizar los análisis de estabilidad: 1) diferenciar los materiales aflorantes entre suelos y rocas, 2) definir los espesores de suelo o las características estructurales del macizo rocoso, y 3) caracterizar los materiales de acuerdo con sus propiedades mecánicas.

Las etapas básicas generales para la generación de esta cartografía son la recopilación de información secundaria relacionada, la definición del marco geológico y estructural regional, la delimitación y caracterización de las unidades, así como la elaboración del mapa a partir de la cartografía básica, el modelo digital de elevación y los sensores remotos.

Es importante hacer una completa recopilación de información secundaria relacionada que contemple la cartografía geológica existente en entidades como el SGC, universidades, corporaciones autónomas regionales, alcaldías municipales, entre otras, con el propósito de establecer, para el casco urbano y los alrededores, un ambiente geológico, y describir un marco geológico y estructural de manera regional.

En cuanto a información más detallada, se debe indagar en las alcaldías, empresas privadas, curadurías urbanas, universidades, etc., sobre la existencia de información geotécnica en el área de estudio o en zonas aledañas; esto permitirá contar con más información para definir las etapas de exploración del subsuelo que se describen posteriormente, las cuales apoyaran los procesos de zonificación de UGI.

Luego de tener el mapa con las unidades geológicas presentes a la escala de trabajo se procede a calificar la susceptibilidad de la siguiente manera:

Geomorfología

Cada geoforma es generada por diferentes procesos, los cuales determinan su morfología y estructura. La génesis y forma del relieve son factores que inciden en la estabilidad del terreno. Las zonas montañosas de Colombia presentan una alta variedad de formaciones geológicas en superficie y de suelos desarrollados a partir de esos materiales, los cuales son propensos a ser afectados por el intemperismo y/o la acción modeladora del medio. Esta situación con lleva a la formación de geoformas propensas a los procesos de remoción en masa.

De forma general, la morfogénesis explica el surgimiento de las formas del relieve a partir de las condiciones climáticas y ambientales. Para la calificación de la susceptibilidad desde el punto de vista morfogenético se tomaron en cuenta dos criterios:

- Procesos dominantes y altura relativa del relieve: la caracterización de los procesos de acumulación y erosión que configuran cada forma de relieve, son aspectos fundamentales que definen las dinámicas actuales que genera los procesos de remoción en masa.
- Grado de inclinación de la pendiente media de la geoforma. El grado de inclinación de las geoformas es derivado de los procesos morfogénicos que la formaron y que determinan los procesos y dinámicas actuales

Figura 5. Criterios para la calificación de las unidades geomorfológicas (morfogénesis).

Criterio 1. Procesos dominantes y altura relativa del relieve	Criterio 2. Pendiente
Predominan procesos acumulativos, se presentan formas con altura relativa menor.	Pendiente Muy Baja a Baja
Ocurrencia de procesos acumulativos y erosivos. Formas altas y bajas con altura relativa media.	Pendiente Leve a Moderada
Predominan procesos erosivos, algunos procesos acumulativos. Formas altas y bajas, altura relativa moderada	Pendiente Moderada a Moderadamente Fuerte
Predominan procesos erosivos, predominan formas altas con pendiente suave a abrupta y altura relativa considerable.	Pendiente Fuerte
Predominan procesos erosivos. Formas abruptas y de altura relativa considerable	Pendiente muy Fuerte

Fuente: Adaptado de SGC, 2011

Del ejercicio de priorizar cada una de las unidades geomorfológicas y calificarlas por las anteriores tablas se cuenta con el producto final que se califica, el producto muestra valores altos para las laderas erosiónales y todos los depósitos identificados**.**

- Formas de origen estructural
- Formas de origen denudacional
- Formas de origen fluvial
- Formas de origen glacial
- Formas de origen volcánico
- Formas de origen marino litoral
- Formas de origen eólico
- Formas de origen Cárstico
- Formas de origen Antrópico.

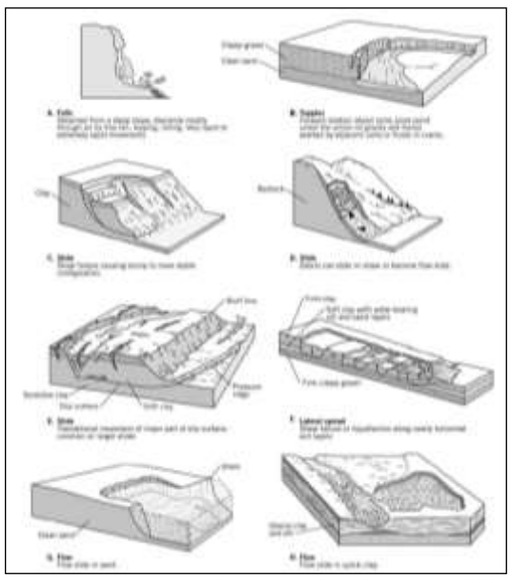
Se tuvo en cuenta la clasificación y definición de unidades geomorfológicas definidas por el IDEAM.

Inventario de procesos de movimiento en masa

Con el fin de realizar la calibración del mapa de amenaza de áreas homogéneas, en la visita de campo se realizara un recorrido en el cual se debe identificar y clasificar los diferentes procesos que afectan la estabilidad del sitio en estudio.

Para la clasificación de los deslizamientos se presenta el sistema propuesto por Varnes (1978), el cual tipifica los principales tipos de movimiento.

Figura 6 Clasificacion de movimientos en masa Cruden y Varnes, 1978.



Fuente: Tomado y modificado de Cornforth D.H. (2005).

Los movimientos en masa son los desplazamientos de masas de suelo, causados por exceso de agua en el terreno y por efecto de la fuerza de gravedad. Los movimientos en masa son procesos esencialmente gravitatorios, por los cuales una parte de la masa del terreno se desplaza a una cota inferior de la original sin que interfiera ostensiblemente algún medio de transporte, siendo tan solo necesario que las fuerzas estabilizadoras sean superadas por las desestabilizadoras.

El estudio de la morfodinámica tiene como énfasis la caracterización de los procesos que tienen lugar en la actualidad. La caracterización y calificación de la morfodinámica en este documento se hace en referencia a la identificación de procesos de remoción en masa.

Las zonas montañosas colombianas presentan una gran diversidad de rasgos litoestratigráficos, climáticos y pedológicos, que generan la ocurrencia de procesos morfodinámicos, que muchas veces, impactan de forma negativa a la sociedad.

La acción combinada de los mecanismos de transporte, tales como el agua de escorrentía, el hielo y viento, ligados a los diversos procesos de desintegración de rocas, provocan una gran variedad de procesos de remoción en masa. Esta diversidad es aún mayor si se toma en cuenta la influencia de las condiciones del subsuelo, las pendientes del terreno y todos los factores asociados a las formas de usos y ocupación del territorio.

En un sentido más restrictivo, la morfodinámica orientada a procesos de movimiento en masa se refiere a los procesos denudativos e hidro-gravitatorios formadores de laderas, los cuales se caracterizan por la ocurrencia de procesos de remoción en masa.

Figura 7. Calificación de la inestabilidad de laderas (susceptibilidad morfodinámica a los procesos de remoción en masa)

Clasificación de la inestabilidad de laderas para cada geoforma
Inactivo: No presenta movimientos en la actualidad

Poco activo: Presenta poco movimiento y/o flujos estabilizados en la actualidad
Moderadamente activo: Presenta movimientos activos de forma ocasional
Activo: Presenta movimientos activos e inactivos de forma generalizada en la unidad
Muy activo: Presenta movimientos mayormente activos y generalizados en la unidad

Fuente: IDEAM

Exploración del subsuelo y ensayos de laboratorio

La exploración del subsuelo es una etapa que, por su importancia y su costo relativo en los estudios, conviene definir de manera cuidadosa. El plan de exploración se determina a partir de los mapas de UGI y de elementos geomorfológicos, lo cual permitirá, a partir de los ensayos de laboratorio, definir los parámetros mecánicos del modelo geológico-geotécnico, para el análisis de amenaza básica a escala 1:2000. De conformidad con lo anterior, la exploración del subsuelo se debe diseñar con este enfoque, que en términos generales contempla exploración básica (escala 1:2000), en la que se busca caracterizar las unidades geológicas y geomorfológicas encontradas. En todo caso se debe incluir la cantidad mínima contratada para este tipo de estudios.

Ensayos de laboratorio

Todas las muestras obtenidas en la fase de exploración deberán trasladarse de forma adecuada a un laboratorio de suelos.

Los tipos de ensayos y la cantidad sugerida se indican a continuación.

Tabla 4. Ensayos de campo y laboratorio

1	**Prospección**
1,1	Perforaciones mecánicas
2	**Ensayos de laboratorio**
2,1	Límites de atterberg
2,2	Granulometría por tamizado con lavado
2,3	Humedad
2,4	Compresión inconfinada
2,5	Peso unitario
2,6	Corte directo

Para la evaluación de la amenaza por procesos de movimiento en masa se debe partir del levantamiento topográfico, el mapa geológico detallado, unidades geotécnicas, las perforaciones mecánicas y ensayos de laboratorio adelantadas en el presente estudio. Dentro de este mapa se deben tener en cuenta aspectos tales como: inclinación del terreno, parámetros de resistencia, permeabilidad del suelo (variaciones del nivel freático) y sismicidad de la zona.

El mapa de amenazas depende básicamente de los agentes detonantes lluvia y sismo, así como la combinación de estos. El mapa de amenazas que se presenta corresponde a la condición más desfavorable, es decir, lluvia y sismos.

Es importante destacar por otro lado, que el mapa de amenaza está basado en conceptos determinísticos a partir del modelo de equilibrio límite desarrollado a partir del talud infinito, con celdas de tamaño 2X2 metros, las cuales pueden representar de manera adecuada fenómenos locales de inestabilidad.

El desarrollo de un mapa probabilístico de amenaza por deslizamiento toma como referencia el artículo desarrollado por los ingenieros del servicio geológico de los Estados Unidos donde manejan la siguiente expresión para el cálculo del factor de seguridad en laderas:

$$FS = \frac{c' + \left(\gamma h \cos^2\beta - \alpha h \gamma \sin\beta \cos\beta - m\gamma_\omega h \cos^2\beta\right)\tan\phi'}{\gamma h \sin\beta \cos\beta + \alpha \gamma h \cos^2\beta}$$

Dónde:
C'= Cohesión efectiva
Φ = Angulo efectivo de fricción
β = Pendiente del terreno
γ = Peso unitario del suelo
γw = Peso unitario del agua
h= Espesor de estrato deslizante
m= Proporción del estrato deslizante que se encuentra saturado
α = Coeficiente de aceleración horizontal

Para realizar un mapa de amenaza haciendo uso de la expresión se necesita desarrollar varias matrices todas de igual tamaño (m x n) las cuales son: matriz de elevación (se obtiene de la topografía desarrollando un modelo digital de elevación), matriz de pendientes (se desarrolla haciendo uso de las herramientas de ArcGIS), matrices de valores de cohesión, ángulo de fricción y peso unitario del suelo.

Una vez obtenidas las matrices y con los valores de t y h se hace uso de la expresión, integrando las diferentes matrices en un código desarrollado en ARCGIS donde se genera una matriz de tamaño (m x n) con los valores de factor de seguridad para cada pixel del mapa.

Para la determinación de los parámetros Geomecánicos empleados en la modelación, se utilizarán los ensayos de laboratorio del presente estudio, para caracterizar los materiales según las unidades geológicas superficiales y se resumen en la tabla a continuación:

Para la generación del mapa de amenaza se analizarán los siguientes escenarios:

- Parcialmente Saturado con Sismo
- Talud Saturado con Sismo
-

Escenario 1 - Talud Parcialmente Saturado con Sismo. Este escenario se representa un periodo normal de lluvias, correspondiente a los análisis de niveles piezométricos detectados en campo, pero en el que adicionalmente se presenta un sismo.

Escenario 2 - Talud saturado con sismo. Este escenario corresponde a la condición más desfavorable y la probabilidad que se presente un sismo con el terreno saturado es realmente baja.

Teniendo en cuenta las condiciones de amenaza sísmica obtenida de la aplicación de la normatividad nacional vigente NSR-10 Titulo A, para el cual se considera para análisis de tipo pseudo–estático, en los análisis de estabilidad para la evaluación de amenaza por remoción en masa para la condición con sismo, el coeficiente de aceleración usado debe ser de 0.80 Aa,

Por último, a partir de los resultados de los factores de seguridad en formato raster se clasifican según la tabla siguiente, la cual fue tomada de la guía propuesta por el SGC en el año 2015, para parametrizar la amenaza de un talud ante deslizamientos.

Tabla 5. Rangos de clasificación de amenaza de un talud ante deslizamiento. Fuente: Guía Metodológica para Estudios de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Movimientos en Masa. Servicio Geológico Colombiano (2015)

NIVEL DE AMENAZA	FACTOR DE SEGURIDAD	VALOR DE SMR	COLOR EN EL MAPA
Alta	<1,1	<40	Rojo
Media	1,1-1,5	41-60	Amarillo
Baja	>1,5	>60	Verde

Nota 1// *Para la zonificación de la amenaza, esta se categorizará en alta, media y baja, que se establece según el método empleado. En todo caso las áreas con procesos activos se consideran en la categoría alta.*

2.3. METODOLOGÍA PARA ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR INUNDACIÓN

La amenaza es definida por la Ley 1523 como "Peligro latente de que un evento físico de origen natural, o causado, o inducido por la acción humana de manera accidental, se presente con una severidad suficiente para causar pérdida de vidas, lesiones u otros impactos en la salud, así como también daños y pérdidas de bienes, la infraestructura, los medios de sustento, la prestación de servicios y los recursos ambientales" [1]

2.3.1. Insumos

Se debe utilizar como mínimo los siguientes insumos:

a) **Geomorfología**. Identificación de las diferentes subunidades geomorfológicas asociadas a los paisajes aluviales, con especial énfasis en las geoformas correspondientes a la llanura de inundación;

b) **Modelo de elevación digital del terreno**;

c) **Identificación de las zonas inundables e inundadas (registro de eventos).** A partir de información de las diferentes entidades a nivel nacional, regional o local, interrelacionada con la información de la comunidad identificar cuales áreas han sufrido afectaciones por inundación y en qué fecha;

d) **Hidrología**. Caracterización del comportamiento del régimen hidrológico en la región a la cual pertenece el municipio mediante un análisis de los eventos hidroclimáticos máximos identificando para cuales períodos de retorno se están presentando las afectaciones y las áreas afectadas para los mismos.

En el análisis se deben considerar los casos en los que existan precedentes de mecanismos generadores de inundaciones tales como encharcamiento por lluvias intensas sobre áreas planas, encharcamiento por deficiencia de drenaje, inundaciones costeras entre otros.

Para la elaboración de la amenaza por Inundación se deberá tomar como mínimo las siguientes metodologías:

1. GUÍA METODOLÓGICA PARA LA ELABORACIÓN DE MAPAS DE INUNDACIÓN. Bogotá, D.C., 2017.
2. PROTOCOLO DE MODELACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA. Bogotá, D.C.,2018

En términos generales, la evaluación de la amenaza para un evento específico requiere determinar los siguientes pasos:

Paso 1:	Identificar los fenómenos amenazantes que pueden configurarse en el municipio.
Paso 2:	Zonificar las áreas susceptibles para cada uno de los eventos específicos.
Paso 3:	Delimitar las áreas que pueden ser afectadas por la manifestación del evento.
Paso 4:	Construir el mapa de afectación del evento (intensidad y magnitud).
Paso 5:	Generar mapas de amenaza relativa por evento.

Entendida la amenaza relativa como la estimación de la posibilidad de ocurrencia de un fenómeno amenazante especifico comparativo de un área específica, de acuerdo con los criterios de la frecuencia y magnitud de los eventos que la detonan.

[1] Ley 1523 de 2012, Articulo 4, Numeral 3

Teniendo en cuenta que las escalas de trabajo requeridas por el decreto 1807 del 19 de septiembre de 2014, corresponde a escalas 1:25.000 y 1:2.000, las metodologías utilizadas para la elaboración de los mapas de amenaza son semi-cuantitativas y cuantitativas.
El objeto del estudio para escala 1:25.000 corresponderá un inventario semi-cuantitativo de zonas potencialmente inundables, mientras que el estudio a escala 1:2000 delimitara cuantitativamente zonas de amenaza de inundación, es decir se generara cartográficamente y a la escala establecida la distribución de las zonas potencialmente inundables con el fin de que puedan ser empleada cuantitativamente en procesos de decisión de la ordenación territorial y generar medidas de protección estructurales y/o no estructurales para la protección contra inundaciones.

Alcance y evaluación de la información

El alcance de los mapas de amenaza depende directamente de la escala y la calidad de la información cartográfica y temática, que pueda ser adquirida o generada durante la parte inicial del proyecto, sin embargo, en ninguna de las circunstancias se emplearan escalas de trabajo e insumos mayores a las establecidas (Urbana y expansión urbana a escala 1:2000 y Rural a escala 1:25.000). De igual manera la evaluación de las amenazas NO se debe restringir a la información arrojada por la base de eventos de emergencias o a la interpretación de fotografías aéreas. Estos son insumos de calibración de las metodologías utilizadas para cada amenaza, pero NO constituyen la evaluación como tal.

a) Susceptibilidad (S): Para delimitar estas áreas se debe identificar las posibles fuentes de la inundación en el territorio que pueden ser por desbordamiento de ríos, ascenso del mar, rotura de obras de infraestructura hidráulica y pluvial.

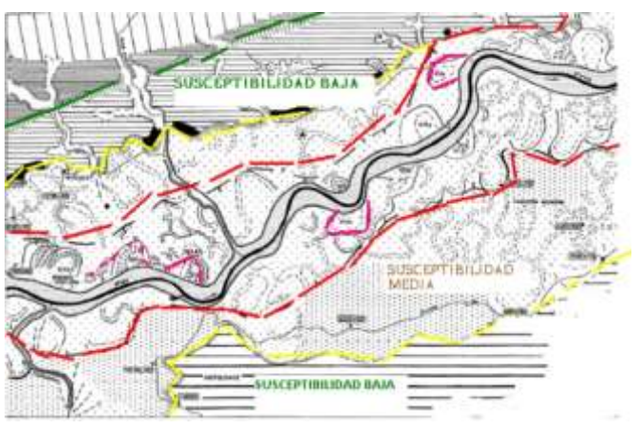
La delimitación de áreas susceptibles a inundarse por desbordamiento de ríos se realiza mediante el análisis de la dinámica fluvial, para ello se identificarán y clasificarán las diferentes geoformas de acuerdo a su relevancia con la dinámica actual. Con el inventario o registro de eventos se caracteriza el tipo de flujo y la altura de la lámina de agua. Se debe contemplar en el análisis el suelo y su uso, la cobertura y la información de la dinámica de las laderas aledañas a los cauces como aspectos relevantes para la dinámica fluvial.

La elaboración de mapas de inundación de origen pluvial y por ruptura de obras de infraestructura hidráulica se hará de acuerdo con la relevancia de éstas en cuanto a la localización segura, la sostenibilidad ambiental, sostenibilidad económica y funcionalidad del territorio.

A manera de ejemplo, se muestra una geoforma fluvial subdividida de acuerdo con características geomorfológicas. Puede determinarse el grado de susceptibilidad a la inundación por desbordamiento del cauce.

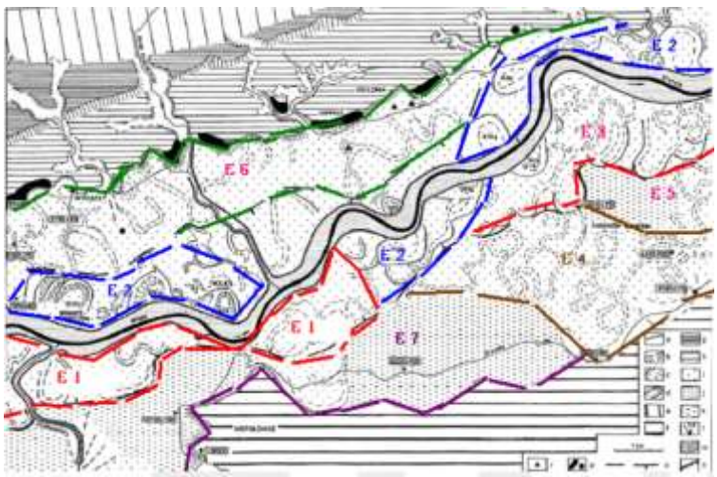
c) Afectación (A): Las áreas de manifestación por inundaciones por desbordamiento corresponden a las de susceptibilidad, donde se especifican el tipo de flujo (velocidad de acuerdo con la pendiente del terreno de donde proceden el volumen de agua o la rotura del canal, o las obras de infraestructura). Se delimitan áreas con diferentes tipos de intensidad del evento.

Figura 8. Susceptibilidad a inundación



Fuente: Paleohidrología. Ferrández (2011)

Figura 9. Zonificación de acuerdo con la intensidad de la inundación por desbordamiento



Fuente: Paleohidrología. Ferrández (2011)

d) Eventos detonantes (Ed): Las altas precipitaciones son el evento detonante de la mayoría de las inundaciones, con excepción de las producidas por los tsunamis y el ascenso del nivel del mar.
Con la información registrada de las zonas inundadas se ajustarán los mapas de manifestación y a partir del registro histórico se evaluará el comportamiento de las inundaciones.

Requerimientos de Información

Se realizará la recopilación y análisis de información secundaria temática y cartográfica (planchas, fotos, datos hidrometeorológicos, estudios de inundación) con el fin de documentar el proyecto y contar con una base para la orientación de las actividades subsecuentes. De igual manera, se realizará un análisis histórico de los fenómenos de inundación que se han presentado en la zona de estudio.

A continuación, se plantean los requerimientos de información mínima requerida para la elaboración de los estudios de amenaza por riesgo de inundación.
a) Información geomorfológica: Se realizarán los siguientes mapas para obtener la información geomorfológica para diferentes amenazas:

- Mapas de geomorfología multipropósito a escala 1:25.000, donde se especialicen las unidades y subunidades, definidas como:

  – Unidad geomorfológica: Geoforma individual genéticamente homogénea, generada por un proceso geo mórfico construccional o destruccional (acumulación o erosión), típico de un ambiente morfogenético dado.

  – Subunidad geomorfológica: Está determinada fundamentalmente por los contrastes morfológicos y morfometricos, que relacionan el tipo de material o la disposición estructural de los mismos, con la correspondiente topografía del terreno, igualmente está definida por el contraste dado por las formaciones superficiales asociadas a procesos morfodinamicos actuales de meteorización, erosión, transporte y acumulación bien definidos o determinados.

- Mapas geomorfológicos a escala 1:2000 o de mayor detalle, con imágenes de satélite y/o fotografías aéreas, donde se delimiten las geoformas correspondientes a la dinámica fluvial y torrencial.

- Mapas morfodinamicos a escala 1:2000 o de mayor detalle para los cascos urbanos y/o centros poblados rurales con imágenes de satélites y/o fotografías aéreas de alta resolución donde se asocien tipos de procesos con materiales y pendientes topográficas, secciones topográficas de análisis de relación pendiente – material – proceso – patrón de drenaje.

b) Información hidrográfica: Mapas temáticos de patrones y densidad de drenaje como insumo básico para los mapas geomorfológicos para amenazas. Se incluirá información hidrográfica de acuerdo al nivel de resolución de los mapas de amenaza, la metodología utilizada y el tipo de evento a evaluar.

c) Información de uso y cobertura del suelo: Elaboración de mapas temáticos orientados a la evaluación de los factores contribuyentes y detonantes de inundación relacionados con la cobertura vegetal:

- Mapa temático del uso actual del suelo.
- Mapa de cobertura vegetal.
- Información de uso y cobertura del suelo.
- Información de conflictos de uso del suelo.

Elaboración de mapas temáticos orientados a la evaluación de los factores contribuyentes y detonantes de inundaciones relacionados con los conflictos de uso del suelo.

d) Información climatológica: Para el análisis de factores detonantes de origen meteorológico, se elaborarán mapas de isoyetas y climatológicos en general en el municipio como insumo a los análisis de inundaciones.

e) Levantamiento Topográfico, Batimetrías y MDT.

Para esta actividad y para los estudios de amenaza a escala 1:2.000 se realizará el respectivo levantamiento topográfico de las zonas urbanas y de expansión urbana. Para tal fin los mapas deberán tener curvas de nivel cada cinco (2) metros o menores si se realiza a escala más detallada. En general se recomienda la realización de la foto-restitución del casco urbano. Para tal fin se deberán definir al menos 20 puntos de control con GPS de doble frecuencia. La foto-restitución deberá estar amarrada al sistema de coordenadas geográficas de IGAC MAGNA – SIRGAS, para lo que se localizará un mojón certificado del IGAC, en caso de no encontrar este punto, se establecerá un nuevo mojón con las especificaciones IGAC y así obtener la certificación oficial por parte de esta entidad. En caso de generarse un nuevo punto, se entregará la respectiva ficha de localización de los mojones nuevos. Se efectuará la verificación y/o ajuste de plano con referencia a las planchas catastrales del IGAC, en casos de que existan.

Para los estudios a escala 1:2.000 se realizará el levantamiento batimétrico a detalle, con el fin de poder generar secciones de los cauces de los ríos y quebradas y realizar los modelos hidráulicos.

Para los estudios a escala 1:25.000 se podrán utilizar MDT (modelos digitales de terreno) a la escala correspondiente, para tal fin los mapas deberán tener curvas de nivel cada veinticinco (25) metros o menores si se realiza a escala más detallada. De igual manera se deben levantar secciones típicas de los cauces con el fin de generar un vaso representativo, el cual se debe corregir dentro del MDT.

f) Identificación de las zonas inundables e inundadas (registro de eventos): A partir de información de las diferentes entidades a nivel nacional, regional o local, identificar cuales áreas han sufrido afectaciones por inundación y en qué fecha.

g) Estudio hidrológico

Para la delimitación de las zonas inundables se requiere una determinación del caudal de creciente para el período de retorno deseado, para lo cual se puede hacer uso de determinados análisis hidrológicos en función de la calidad y cantidad de información existente para el sitio de interés.
Si existen registros de caudal en el sitio de interés, puede llevarse a cabo un análisis de frecuencia de caudales máximos.

Si no hay registros de caudal disponibles, se debe llevar a cabo un análisis de transformación de lluvia en escorrentía con el fin de determinar el caudal para el período de retorno deseado.

Cuando al punto de interés confluye una cuenca compuesta por varias subcuencas representativas se determina el hietograma de lluvia para el período de retorno deseado, se encuentra un hidrograma unitario sintético de cada subárea de la cuenca y se calcula el hidrograma de escorrentía directa de cada subcuenca. Dichos hidrogramas se transitan aguas abajo y se suman para determinar el hidrograma de escorrentía directa total en la parte más baja de la cuenca de drenaje. El caudal pico del hidrograma del punto localizado en el extremo aguas abajo se utiliza como el caudal de la creciente de diseño.

- **Con registros de caudal en el sitio de interés**

En el caso de contar con una estación limnimétrica o limnigráfica en el sitio de interés con datos históricos de caudal máximo instantáneo, se toman sus valores máximos instantáneos anuales, se ajustan a distribuciones probabilísticas conocidas, y se hacen inferencias estadísticas.

Se debe tener en cuenta que los caudales máximo-instantáneos son los valores de caudal máximo que cruzan por una sección hidrométrica en una corriente, y son registrados en estaciones limnigráficas o limnimétricas a través de datos de lecturas de miras máximas instantáneas, integradas con la respectiva curva de calibración de caudales líquidos.

Se debe tener en cuenta que las estaciones limnimétricas solamente se pueden calcular valores puntuales de caudal en las horas del día en las cuales se leen las lecturas de mira de las mismas.

- **Transposición de datos de caudal**

Cuando la estación limnimétrica o limnigráfica se encuentre en la misma cuenca hidrográfica pero no en el sitio de interés se pueden transferir caudales máximos instantáneos anuales de diferentes periodos de retorno de esta estación hasta el sitio de proyecto, mediante relaciones de áreas de drenaje, así:
QSP = QEH x (ASP/AEH)x
Dónde:

QSP: Caudal en el sitio de proyecto, en metros cúbicos por segundo (m3/s).
QEH: Caudal en la estación limnimétrica o limnigráfica, en metros cúbicos por segundo (m3/s).
ASP: Área de la cuenca hidrográfica hasta el sitio de proyecto, en kilómetros cuadrados (km2).
AEH: Área de la cuenca hidrográfica hasta la estación limnimétrica o limnigráfica, en kilómetros cuadrados (km2).
El exponente x es un valor que fluctúa usualmente entre 0.5 y 0.75. A falta de datos de investigación, se acostumbra tomar un valor igual a 0.5.

Para la aplicación de esta metodología la diferencia entre las áreas de drenaje no podrá ser mayor o menor al 50 % del valor original del área de drenaje. Adicionalmente esta metodología se puede aplicar para cuencas hidrográficas que sean hidrológica y climatológicamente homogéneas.

- **Análisis regional de caudales máximos instantáneos anuales**

Cuando se cuenta con varias estaciones hidrométricas con datos de caudales máximos instantáneos anuales históricos en una región de cierta magnitud e hidrológicamente homogénea, se puede aplicar el método del análisis regional de frecuencias de esta variable hidrológica. Para ello, se sigue la siguiente metodología:

a) Se calculan los valores de caudal para diferentes periodos de retorno en cada una de las estaciones hidrométricas.
b) Se calcula la relación generalizada para la región, entre el caudal con periodo de retorno de 2.33 años Q2.33 (caudal promedio en la distribución Gumbel) y el área de drenaje A, con base en los datos de cada una de las estaciones hidrométricas.

$Q_{2.33} = f(A)$
c) Para cada estación, se calcula la relación entre el caudal para cada periodo de retorno T definido (dando valores de periodos de retorno iguales a 2, 5, 10, 20, 50 y 100 años) y el caudal con periodo de retorno de 2.33 años QT/Q2.33).
d) Se debe realizar un ensayo de homogeneidad estadístico, con el fin de asegurar que los datos obtenidos correspondan a una región hidrológicamente homogénea. Si el resultado de una de las estaciones queda por fuera de la franja de confianza del referido ensayo, se debe eliminar tal valor. La pregunta de si los datos en un grupo de estaciones son homogéneos, se puede contestar en un sentido estadístico determinando si ellos difieren de uno a otro por cantidades que no pueden ser explicadas al azar. Por otro lado, donde esas diferencias no son más que debidas a la casualidad, se puede concluir que los datos representan aspectos diferentes de la misma entidad y, por consiguiente, pueden ser tenidos como homogéneos.
e) Se calcula el valor promedio o el valor mediano de la relación QT/Q2.33 para la región para los diferentes periodos de retorno considerados, con base en los valores individuales para cada estación.
f) Para una estación no aforada en la región con un área de drenaje A, el valor del caudal con un periodo de retorno determinado QT se calcula estableciendo, en primer lugar, el valor del Q2.33 con la relación generalizada Q2.33 = f (A) para la región y, luego, utilizando la relación generalizada QT/Q2.33 para la referida región.
Aunque esta metodología es relativamente antigua, aún hoy en día conserva su validez por su respaldo académico y sencillez.

- **Modelos lluvia escorrentía**

Los modelos de transformación lluvia en escorrentía son utilizados cuando no existe la posibilidad de obtener medidas directas de caudales de drenaje en las cuencas hidrográficas.
Dichos modelos calculan la escorrentía superficial a partir de datos históricos de lluvias de corta duración existentes en la cuenca de interés y representativas de ella, en función de sus características geométricas, de suelos, vegetación y usos del suelo.

Se pueden utilizar metodologías tales como, el método racional, método del hidrograma de escorrentía superficial o modelos computacionales como el HEC-HMS.

- ✓ **Método racional**

Este método sólo puede ser aplicado en un área de drenaje máxima igual a 2.5 km2.
El método racional parte de la definición del coeficiente de escorrentía C, valor adimensional, el cual se puede definir como la relación entre el volumen de escorrentía superficial, VE, y el volumen de precipitación total, Vp, ambos expresados en m3, es decir, es un coeficiente que expresa qué porcentaje de la precipitación se convierte en escorrentía superficial directa.
Entonces, puede establecerse que el caudal calculado por el método racional corresponde a un caudal pico QP, ya que es generado por una lluvia de intensidad i sobre un área de drenaje A, en donde dicha lluvia dura como mínimo un tiempo tal que toda el área de drenaje contribuya a la escorrentía superficial.

- ✓ **Método del hidrograma de escorrentía superficial.**

Este método es utilizado para áreas de drenaje mayores a 2.5 km2. Sherman, el autor de la metodología, lo propuso para áreas de drenaje de hasta 20 km2, pero es usual utilizarlo en hidrología para valores mayores.
Este método está definido como el hidrograma de escorrentía superficial total resultante de un volumen unitario de lluvia neta, uniformemente distribuido en espacio y tiempo. La altura de la lluvia neta o efectiva corresponde con la altura de escorrentía superficial total del hidrograma unitario.
Para problemas de drenaje superficial se supone, por seguridad, que antes del evento de la precipitación de diseño ha llovido en la cuenca y que, por lo tanto, la intercepción y la detención superficial ya han sido copadas; por lo que la lluvia o precipitación efectiva o neta es igual a la precipitación total menos la intercepción menos la detención superficial menos la infiltración.
De nuevo, las lluvias netas se suponen de distribución uniforme y de intensidad constante en toda el área de drenaje de la cuenca.

- ✓ **Modelos computacionales**

Cuando las áreas de drenaje en una cuenca son mayores a 20 km2, se aconseja subdividirla en subcuencas y aplicar modelos computacionales para tener en cuenta el hidrograma de creciente producido por cada una de las subcuencas y su tránsito a través del canal principal de la misma y así obtener el hidrograma resultante en el punto de interés, del cual se extrae el caudal pico para determinado período de retorno. Por tanto, el hidrograma total resultante es la suma de las ordenadas de los diversos hidrogramas para cada valor constante de tiempo.

A continuación, se presentan algunos programas y sus respectivas características para modelación hidrológica.

Tabla 6. Software para modelación hidrológica

NOMBRE	AUTOR	CARACTERISTICAS
U.S. Geological Survey (USGS) Model	Dawdyetal. (1970. 1978)	Orientado a procesos. Procesos continuos. Modelación eventos lluvia escorrentia
Storm Water Management Model (SWMM)	Metcalf y Eddv et al (1971)	Modelo semidistribuido. Modelos de flujo de tormenta continuo
	Huber y Dickinson (1955)	
	Huber (1005)	
Phisically Based Runoff Production Model (TOPMODEL)	Beven y Kirby (1976-1979)	Físicamente basado. Distribuido. Modelo continuo de simulación hidrológica.
	Beven (1995)	
Generalized River Modeling Package -Systeme Hydroloque Europeen (Mike SHE)	Refsgard y Storm (1995)	Físicamente Basado. Distribuido. Modelo continuo de simulación hidrológica e hidráulica.
Cascade two dimensional Model (CASC2D)	Julien y Shasafian (1991)	Físicamente Basado. Distribuido. Modelo de simulación de escorrentia
	Ogden (1998)	
Soil Water Assesment Tool (SWAT)	Arnold et al (1998)	Distribuido. Conceptual. Modelos de sumulacion continua
Hidiological Modeling System (HMS)	Yu (1996)	Físicamente basado. Parámetros Distribuidos. Modelo continuo de simulación hidrológica.
	Yu y Schwartz (1998)	
	Tu et al (1999)	
Soil-Vegetation-Atmosfere Transfer (SVAT) Model	Ma et al (1999)	Macroescala. Modelación de caudales aguas abajo del rio
	Ma y Chens (1998)	
Climate. Soil and Vegetation	Eagleson (1978)	Modelo estocastico. Modelo de balance hidrico anual.

h) Estudio Hidráulico

El modelo hidráulico tiene básicamente dos insumos de entrada y un motor de cálculo. Los insumos corresponden a la topología del modelo y a los caudales a transitar, el motor de cálculo corresponde al modelo hidráulico empleado para realizar el transito hidráulico de los caudales calculados sobre el tramo evaluado.

- **Topología del modelo**

Sobre el modelo digital de terreno:

- ✓ Se definen las orillas del cauce y el eje del canal.
- ✓ De acuerdo a la geomorfología del cauce el modelo de terreno se discretiza en secciones transversales al eje del canal que definen el área transversal y cota batea del vaso, así como la morfología y pendiente transversal del área aferente. El número de secciones generado es especifico de cada cuerpo lótico evaluado y depende de la geomorfología del mismo (meandros, pendiente longitudinal, rugosidades diferenciales, estructuras hidráulicas en línea, etc)

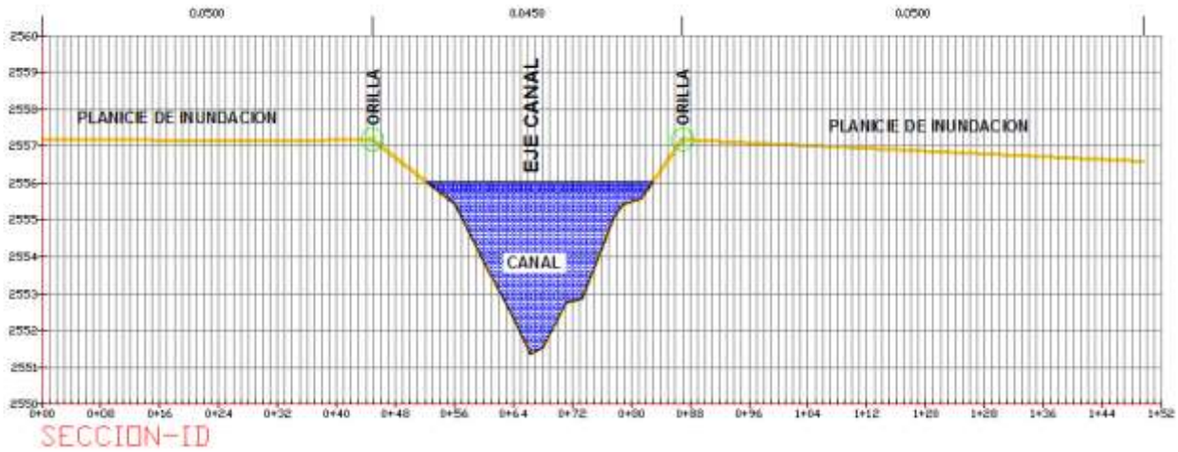
- ✓ Se correlacionan espacialmente las secciones transversales, respecto a las distancias entre ejes y orillas de una sección a otra, de igual forma se determina la pendiente entre secciones y el perfil longitudinal de flujo.

- ✓ Se definen las rugosidades específicas por tramo en función de la morfología del lecho, preferiblemente por métodos de medición directa o en su defecto por extrapolación de información obtenida de otros estudios para condiciones morfológicas similares. Se deben tener en cuenta estructuras hidráulicas en línea (culverts, canales, bocatomas, etc).

Figura 10. Definicion topologica del modelo. Tomado de CAR.



Figura 11. Seccion hidraulica tipica. Tomado de CAR.



- **Caudales**

Son aquellos resultados del estudio hidrológico y corresponden al promedio máximo de los últimos quince años para la definición de la ronda y de 25, 50 y 100 años para la evaluación del riesgo. La definición de los periodos de retorno para la zonificación de la amenaza será determinados según la metodología empleada. Para todos los casos se deberá justificar por qué se definieron dichos periodos de retorno para la zonificación de la amenaza.

- **Modelo hidráulico**

Cualquier modelo que permita simulación hidráulica del flujo para canales de cualquier tipo de sección transversal bajo flujo permanente o gradualmente variado, conservando la masa y la energía de acuerdo a las ecuaciones de Saint Venant o Bernoulli y alguna ecuación de resistencia fluida:

$$Z1 + Y1 + (V12/2g) = Z2 + Y2 + (V22/2g) + h$$

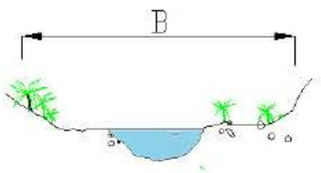
En donde:
Z: Nivel del fondo del canal aguas arriba (1) y abajo (2) del tramo, denominado este término cabeza de posición, en m.
Y: Lámina de agua aguas arriba (1) y abajo (2) del tramo, denominado este término cabeza de presión, en m.
V2/2g: Cabeza de velocidad aguas arriba (1) y abajo del tramo (2), denominado este término cabeza de velocidad, en m.
h: Pérdidas de energía en el tramo, dividiéndose en pérdidas por fricción y localizadas, en m.
Se utiliza como la expresión más simple de un flujo de un fluido incompresible en nuestro caso el agua. Si se toma como referencia un tubo de flujo o volumen encerrado por las líneas de corriente en régimen permanente y debido a que no hay pérdida de masa o ganancia de la misma en el interior de este tubo se cumple que:

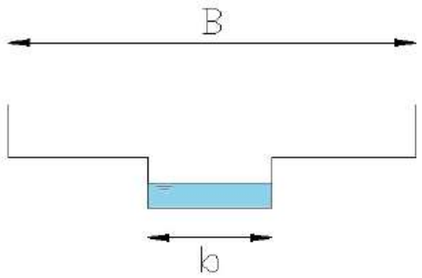
$$Q = v1A1 = v2A2 = \ldots$$

Esta expresión sencilla es una ayuda significativa a la hora de analizar cualquier flujo, pues se cumple siempre. Intuitivamente la expresión lo que indica es que el volumen se conserva pues la densidad es independiente de la posición y del tiempo. En esta ecuación Q es el caudal, v la velocidad y A el área normal al flujo. Esta idea sencilla de flujo normal hay que tenerla en cuenta a la hora de desarrollar modelos numéricos de flujo en cauces.

La ecuación de continuidad se puede expresar para canal rectangular o su equivalente para un cauce de un río. En la siguiente figura se observa la representación de un cauce natural y un canal.

Figura 12. Cauce y canal con llanura de inundación y cauce de aguas altas. Fuente CAR.

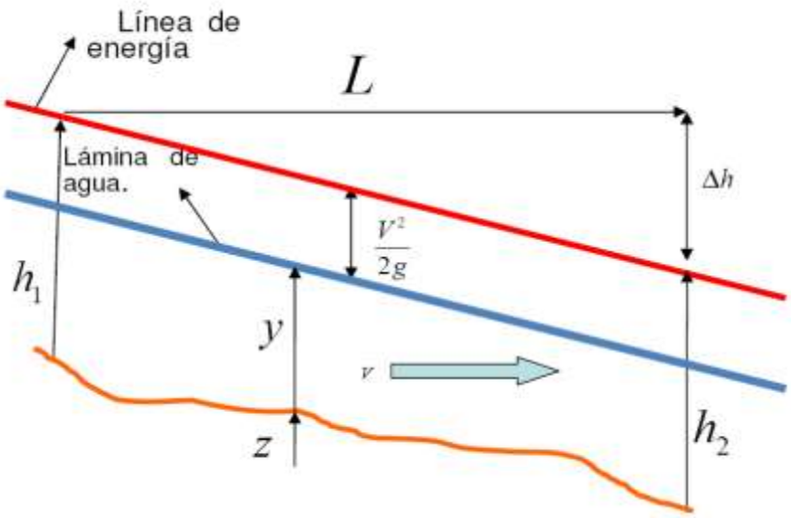




- ✓ **Ecuación de energía**

En la Figura se observa el esquema de un tramo de canal y dos secciones separadas una distancia Δx, en las que se indican las tres magnitudes de energía que se deben equilibrar.

Figura 13. Balance de energía en un tramo de cauce. Fuente CAR.



El equilibrio energético se hace simplemente mediante la relación:

$$H_1 = H_2 + \Delta H$$

$$H = z + y + \frac{v^2}{2g}$$

En donde la energía total H se expresa mediante la suma de tres términos, el potencial, el de presión y el cinético.
La energía total siempre se relaciona con un nivel de referencia único para todas las secciones. Debido a que el valor de la energía potencial se debe medir desde el punto más bajo de la sección hasta el nivel de agua, y desde este último hasta la línea de energía se mide la altura de energía cinética del flujo y que esto es así para cualquier sección independientemente de su posición respecto de la cota de referencia; a esta suma se le suele denominar energía específica de esa sección. Esta energía se puede escribir de muchas formas entre otras como se plantea a continuación:

$$E = y + \frac{v^2}{2g}$$

$$E = y + \frac{Q^2}{2gA^2} \quad \rightarrow \quad \text{con} \quad v = \frac{Q}{A}$$

$$E = y + \frac{q^2}{2gy^2} \quad \rightarrow \quad \text{con} \quad q = \frac{Q}{B}$$

$$E = y + \frac{\bar{q}^2}{2g\bar{y}^2} \quad \rightarrow \quad \text{con} \quad \bar{q} = \frac{Q}{\bar{B}}$$

Todas son ecuaciones de la energía específica de una sección de flujo y todas se componen de dos términos: el potencial y el cinético. Desde el punto de vista ingenieril todos los términos se expresan en magnitudes de "longitud" y las unidades son los "metros".

- ✓ **Fronteras del modelo**

Una vez implementada la topología en el modelo y cargados los caudales, es necesario definir las condiciones hidráulicas de frontera del tramo evaluado. Lo recomendable sería conocer la profundidad de flujo para cada caudal evaluado en la primera y última sección del modelo, definiendo esta profundidad de flujo como frontera aguas arriba y aguas abajo.
En el caso de no conocer la lámina asociada al caudal, se debe determinar la profundidad normal de flujo para cada caudal evaluado en los extremos topológicos del modelo. Conocida la profundidad normal se calcula el número de Froude, que indicara si el flujo es subcrítico o supercrítico, definiendo de esta manera el control hidráulico en el modelo.

- ✓ **Modelos computacionales**

Una vez que se ha determinado el caudal de creciente para el periodo de retorno deseado, el siguiente paso es determinar el perfil de la superficie de agua a lo largo del canal. Este análisis puede llevarse a cabo suponiendo flujo permanente, gradualmente variado, no uniforme, utilizando un modelo unidimensional como el HEC-RAS (U. S. Army Corps of Engineers) o un modelo bidimensional basado en diferencias finitas o elementos finitos (Lee y Bennett, 1981; Lee, et al., 1982; Mays y Taur, 1984).

Los modelos unidimensionales solamente permiten que las propiedades de flujo varíen a lo largo del canal, mientras que los modelos bidimensionales también tienen en cuenta cambios a lo ancho, en la sección transversal.

En forma opcional, puede llevarse a cabo un análisis de flujo no permanente con el fin de identificar la máxima elevación de la superficie del agua en diferentes secciones transversales durante la propagación de la onda de creciente a través del tramo del rio.

Los modelos de flujo no permanente son necesarios para la delineación de las planicies de inundación en grandes lagos, debido a que el almacenamiento en el lago altera la forma y el caudal pico del hidrograma de crecientes a medida que el flujo pasa a través de él.

A continuación se presentan algunos programas y sus respectivas características para modelación hidráulica.

Tabla 7. Software para modelación hidráulica

MÉTODO	DESCRIPCIÓN	APLICACIÓN	EJEMPLO DE MODELOS	DATOS DE ENTRADA	DATOS DE SALIDA	TIEMPO COMPUTACIONAL (AÑO 2006)
0D	No es físicamente basado	Evalúa la extensión de la inundación y las profundidades de inundación	AgcGIS Delta mapper	MDE (DEM) Altura de lámina de agua aguas arriba Altura de lámina de agua aguas abajo	Extensión de la inundación y profundidad del agua a través de la intersección entre la lámina de agua y el MDE.	Segundos

MÉTODO	DESCRIPCIÓN	APLICACIÓN	EJEMPLO DE MODELOS	DATOS DE ENTRADA	DATOS DE SALIDA	TIEMPO COMPUTACIONAL (AÑO 2006)
1D	Soluciona las ecuaciónes de Saint Venant 1D	Diseño a escala del modelo, la cual puede ser del orden de 10s a 100s de km dependiendo del tamaño de la cuenca	Mike 11 HEC-RAS SOBEK-CF Infoworks RS (ISIS)	Secciones transversales del cauce ppal y la llanura de inundación. Hidrogramas de caudal aguas arriba. Hidrógrafas de altura aguas abajo.	Profundidad del agua y velocidad media en cada sección transversal. Extensión de la inundación por la intersección de la profundidad del agua simulada con el MDE. Hidrograma de salida aguas abajo.	Minutos
1D+	Enfoque 1D+ con celdas de almacenamiento para la simulación del flujo en las llanuras de inundación	El diseño de la escala del modelo puede ser del orden de 10s a 100s de km dependiendo del tamaño de la cuenca, con potencial de aplicación en escalas mayores si se utilizan datos escasos de secciones transversales	Mike 11 HEC-RAS SOBEK-CF Infoworks RS (ISIS)	Iguales a los modelos 1D	Iguales a los modelos 1D	Minutos a horas
2D-	Ley de conservación de momentum 2D- para la llanura de inundación	Gran escala de modelación para inundaciones urbanas dependiendo de las dimensiones de las celdas	LISFLOOD-FP	MDE (DEM) Hidrograma de caudal aguas arriba. Hidrógrafas de altura aguas abajo.	Extensión de la inundación y profundidad del agua. Hidrograma de caudal de salida aguas abajo.	Horas
2D NC	Soluciona las ecuaciones de onda poco profunda bidimensionales en la forma no conservativa	Diseño de la escala del modelo del orden de 10s km. Podría tener el potencial para ser usado en modelación de escalas amplias su se aplica con mallas secundarias. No es adecuado para simulaciones de modelos transcríticos y flujos de rompimiento de presas.	TUFLOW	MDE Hidrogramas de caudal aguas arriba. Hidrografas de altura aguas abajo.	Extensión de la inundación Profundidades Velocidades promedio en la vertical en cada nodo computacional Hidrograma de caudal de salida aguas abajo	Horas a días

MÉTODO	DESCRIPCIÓN	APLICACIÓN	EJEMPLO DE MODELOS	DATOS DE ENTRADA	DATOS DE SALIDA	TIEMPO COMPUTACIONAL (AÑO 2006)
2D C	Soluciona las ecuaciones de onda poco profunda bidimensionales en la forma conservativa	La misma que 2D NC más la capacidad de modelar exactamente flujos transcríticos, rompimiento de presas y flujos de transientes rápidos	Mike 21 TELEMAC SOBEK-OF Delft-FLS Infoworks	Igual que 2D NC	Igual que 2D NC	Horas a días
2D+	Solución 2D plus para las velocidades en la vertical usando sólo la ecuación de continuidad	Modelación de costas donde los perfiles de velocidad 3D son importantes. Ha sido también aplicado para modelación de ríos en proyectos de investigación	TELEMAC 3D Delft-3D	MDE Hidrogramas de caudal aguas arriba. Distribución de velocidades de entrada. Hidrografas de altura aguas abajo.	Extensión de la inundación Profundidades de la lámina de agua Velocidades u, v y w para cada celda computacional. Hidrograma de caudal de salida aguas abajo.	Días
3D	Solución 3D de las ecuaciones tridimensionales de Navier Stokes y Reynolds promedio	Predicciones tridimensionales de campos de velocidades en los cauces principales y llanuras de inundación	CFX FLUENT PHEONIX	MDE Hidrogramas de caudal aguas arriba. Distribución de velocidades de entrada y distribución de energía cinética turbulenta Hidrografas de altura aguas abajo.	Días	

Nota//. *Para la zonificación de la amenaza se emplean tres categorías: alta, media y baja, teniendo en cuenta el registro de eventos, la recurrencia de los mismos y la intensidad (niveles alcanzados) de la inundación.*

Para el suelo urbano, de expansión urbana y rural se utilizará, como mínimo, análisis de tipo histórico y geomorfológico. De acuerdo con la información disponible se podrán complementar con análisis hidrológico-hidráulicos y métodos asistidos por sensores remotos y sistemas de información geográfica.

2.4. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS PARA LOS ESTUDIOS DE AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES

2.4.1. Insumos

Se debe utilizar como mínimo los siguientes insumos:

a) Geomorfología;

b) Estudio hidrológico de la cuenca, orientado al flujo torrencial, considerando el ciclo de sedimentos;

c) Análisis hidráulico del área a zonificar, teniendo en cuenta factores detonantes como precipitación o movimientos en masa;

Evaluación de amenaza

La generación de los mapas de susceptibilidad y amenaza por avenidas torrenciales se propone en dos (2) pasos:

Primer paso

Determinar las áreas del municipio vulnerables a avenidas torrenciales; se utilizará el Índice de Vulnerabilidad frente a Eventos Torrenciales en fuentes abastecedoras – IVET - definido en el documento "Enfoque conceptual y metodológico para determinar la vulnerabilidad de fuentes abastecedoras de acueductos" (IDEAM, 2011e), para las áreas montañosas de los afluentes principales de las subcuencas y a las microcuencas abastecedoras. Las cuencas que arrojen un IVET entre Medio y Muy Alto serán objeto de evaluación de amenaza.

El IVET es definido y caracterizado de la siguiente manera, según el IDEAM:

a) Definición y significado:

La vulnerabilidad se expresa en relación con los índices morfométricos de torrencialidad e índice de variabilidad.

- El índice Morfométrico de Torrencialidad, es la relación entre los parámetros morfométricos como el coeficiente de compacidad o de forma, la pendiente media de la cuenca y la densidad de drenaje, los cuales son indicativos de la forma como se concentra la escorrentía, la oportunidad de infiltración, la velocidad y 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 con ello inferir cual podría ser el nivel de susceptibilidad a procesos torrenciales (Rivas y Soto., 2009) en (IDEAM, 2011e).
- El índice de variabilidad muestra el comportamiento de los caudales en una determinada cuenca definiendo una cuenca torrencial como aquella que presenta una mayor variable, es decir, donde existen diferencias grandes entre los caudales mínimos que se presentan, y los valores máximos.

b) Fórmula y unidad de medida del indicador

Una matriz de decisión entre las categorías del índice Morfométrico y el índice de variabilidad. La unidad de medida del indicador es cualitativa y se expresa en términos de vulnerabilidad muy alta, alta, media y baja.

c) Descripción metodológica:

El índice Morfométrico se concluye en la relación entre las variables morfométricas como el coeficiente de compacidad o de forma, la pendiente media de la cuenca y la densidad del drenaje, los cuales son indicativos de la forma como se concentra la escorrentía, la oportunidad de infiltración, la velocidad y 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 con ello inferir cual podría ser el nivel de susceptibilidad a procesos torrenciales (Rivas y Soto., 2009).

Se define una serie de valores promedio de las variables indicadas, estableciendo seis categorías o rangos, mientras mayor sean estos valores, hay una mayor tendencia para que en la cuenca se presenten procesos torrenciales, es decir, existe una mayor vulnerabilidad a este tipo de procesos. (IDEAM, 2011e). A continuación, se muestran los rangos de la clasificación de los parámetros mencionados.

Figura 14. Relaciones para categorizar el índice Morfométrico

Índice Morfométrico	Escala	Área de la cuenca de drenaje (Km2)	Categoría				
			1	2	3	4	5
Densidad de drenaje (Km/Km2)	1:10.000	<15	<1,50	1,51-2,00	2,01-2,50	2,51-3,00	>3
	1:25.000	16 a 50	<1,20	1,21-1,80	1,81-2,00	2,01-2,5	>2,5
	1:100.000	>50	<1,00	1,01-1,50	1,51-2,00	2,01-2,50	>2,5
			Baja	Moderada	Moderada Alta	Alta	Muy Alta
Pendiente media de la cuenca (%)	1:10.000	<15	<20	21-35	36-50	51-75	>75
	1:100.000	>50	<15	16-30	30-45	46-65	>65
			Accidentado	Fuerte	Muy Fuerte	Escarpado	Muy Escarpado
Coeficiente de compacidad			<1,625	1,376-1,500	1,251-1,375	1,126-1,250	1,00-1,125
			Oval-oblonga a rectangular-oblonga	Oval-redonda a oval-oblonga		Casi redonda a oval-redonda	

Fuente: Rivas y Soto (2009) nombrado en IDEAM, 2011.

Las categorías del índice morfométrico que van desde muy alta hasta muy baja, en función de los parámetros pendiente media de la cuenca, densidad de drenaje y coeficiente de forma.

Figura 15. Relaciones entre variables para el índice Morfométrico

Pendiente media de la cuenca							
Densidad de drenaje	1	1	2	3	4	5	Coeficiente de forma
		111	121	131	141	151	
		112	122	132	142	152	
		113	123	133	143	153	
		114	124	134	144	154	
		115	124	135	145	155	
	2	211	221	231	241	251	
		212	222	232	242	252	
		213	223	233	243	253	
		214	224	234	244	254	
		215	225	235	245	255	
	3	311	321	331	341	351	
		312	322	332	342	352	
		313	323	333	343	353	
		314	324	334	344	354	
		315	325	335	345	355	
	4	411	421	431	441	441	
		412	422	432	442	45	
		413	423	433	443	453	
		414	424	434	444	454	
		415	425	435	445	455	
	5	511	521	531	541	551	
		512	522	532	542	552	
		513	523	533	543	553	
		514	524	534	544	554	
		515	525	535	545	555	
Muy baja		Moderada		Baja	Alta	Muy alta	

Fuente: Rivas y Soto (2009) nombrado en IDEAM, 2011.

Una condición muy alta para el índice morfométrico corresponde a áreas que se caracterizan por ser inestables y potencialmente inestables que responden rápida y violentamente a lluvias de alta intensidad y corta duración, generando avenidas torrenciales de forma frecuente.

La categoría alta muestra áreas con una respuesta hidrológica rápida con una cobertura de suelo que permite procesos torrenciales que se presentan frecuentemente en períodos lluviosos. La condición media, en cambio, presenta una respuesta a procesos hidrológicos de moderada a rápida y los eventos se presentan generalmente en las épocas de las mayores precipitaciones al año.

El índice de variabilidad se obtiene de la curva de duración de caudales, muestra como es la variabilidad de los caudales en una determinada cuenca. Una cuenca torrencial es aquella que presenta una mayor variabilidad, es decir, existen diferenciales grandes entre los caudales mínimos y los valores máximos. Cuencas con variabilidades pequeñas muestran que los caudales tienden a mantenerse y los cauces por los que existe flujo, generalmente tienen la capacidad para transportar estos caudales. El comportamiento con variabilidad pequeña es típico de cauces de llanura, los cuales generalmente no presentan procesos torrenciales.

Cuencas de áreas pequeñas con pendientes altas, por lo general presentan caudales de creciente, alternado de caudales medios y bajos con magnitudes muy inferiores a las de los caudales máximos, que hacen que la curva de duración de caudales muestre una gran variabilidad.

La curva de duración de caudales al ser graficada en escala logarítmica muestra una tendencia lineal, de la cual se puede obtener el índice de variabilidad que se expresa mediante la siguiente expresión:

$$\text{Índice de variabilidad} = \frac{\{Log(Qi) - Log(Qf)\}}{\{Log(Xi) - Log(Xf)\}}$$

Donde, Qi y Qf representan dos caudales tomados de la curva de duración de caudales, y Xi y Xf los porcentajes de tiempo en que se exceden los caudales Qi y Qf respectivamente.

Tabla 8. Clasificación del índice de variabilidad

Índice de variabilidad	Vulnerabilidad
<10°	Muy baja
10,1° - 37°	Baja
37,1° - 47°	Media
47,1 – 55°	Alta
>55°	Muy alta

Fuente: Rivas y Soto 2009, nombrado en IDEAM 2011

El índice de vulnerabilidad frente a eventos torrenciales, indica la relación existente entre las características de la forma de una cuenca que son indicativos de la torrencialidad en la misma, en relación con las condiciones hidrológicas en dicha cuenca. A continuación, se muestra la clasificación de vulnerabilidad frente a eventos torrenciales una vez se estima cada uno de los índices mencionados.

Tabla 9 Clasificación del índice de vulnerabilidad frente a eventos torrenciales (IVET)

Índice de variabilidad	Índice morfométrico de torrencialidad				
	Muy Baja	Baja	Media	Alta	Muy Alta
Muy Baja	Baja	Baja	Media	Alta	Alta
Baja	Muy Baja	Media	Media	Alta	Muy Alta
Media	Muy Baja	Media	Alta	Alta	Muy Alta
Alta	Media	Media	Alta	Muy Alta	Muy Alta
Muy Alta	Media	Alta	Alta	Muy Alta	Muy Alta

Fuente: IDEAM 2011

Se expresa en relación con los índices morfométricos y de variabilidad para estimar una sola vulnerabilidad frente a eventos torrenciales, teniendo en cuenta los rangos y las clasificaciones de cada uno de ellos.

Fuente y disponibilidad de datos: Curvas de nivel o modelo digital de elevación del terreno (DEM). En condiciones generales en el país, la cartografía que se puede obtener se encuentra a escalas 1:100.000, 1:25.000 y en algunos casos a escala 1:10.000. Es importante resaltar que cuencas con áreas pequeñas, pueden no quedar bien representadas en cartografía a escala 1:100.000 dados el poco detalle que presentan estas planchas. Para lo cual es necesario valerse de herramientas de mejor detalle como puede ser el Modelo Digital Suministrado por la NASA, el cual cuenca con celdas de 30 m. de lado, y que es una muy buena representación para el territorio colombiano.

Información hidroclimatológica de caudales diarios y de precipitación a nivel diario para estimativos de caudal cuando no se tienen estaciones hidrométricas. En general, esta información corresponde a los registros de lluvia a nivel diario en diferentes estaciones pluviométricas cercanas a la cuenca. Como mínimo, para una determinada cuenca abastecedora, es necesario contar con la información de los datos de lluvias, ya sea dentro de la misma, o en estaciones cercanas con distancias inferiores a 1.0 Km. En caso en los que se requiera emplear métodos lluvia-caudal, es necesario también tener los datos de temperatura y evaporación a nivel mensual.

Información geológica, geomorfológica y de cobertura y uso del suelo. Esta información, representada en cartografía, sirve en todo el análisis para establecer las pérdidas por infiltración en la cuenca. A partir de la geología y geomorfología y la cobertura y el uso del suelo, se puede tener un estimativo de los coeficientes de escorrentía o números de curva (CN) de la zona de estudio, insumo que posteriormente junto con toda la información hidroclimatológica analizada permiten obtener los caudales."

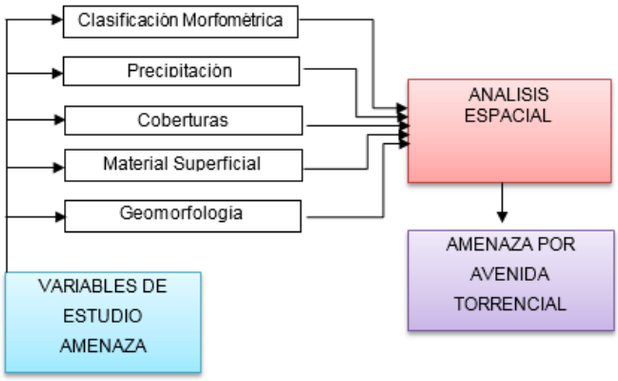
El estudio de la amenaza por avenida torrencial toma como muestra de análisis de cuencas; es decir que se deb tomar una muestra bastante representativa micro cuencas.

Una cuenca susceptible ante una avenida torrencial tiene varias características:

- Cuencas jóvenes y pequeñas menores a 200 Km2.
- Cuencas en regiones montañosas y escarpadas.
- Alta pendiente del canal central y de la pendiente media de la cuenca.
- Gran capacidad de socavación e incisión del cauce.
- Abundante material detrítico a ser arrastrado.
- Capacidad de transporte de material heterométrico.
- Cuencas con valles o cañones estrechos en V.
- Gran Variabilidad del caudal máximo y mínimo en la cuenca.
- Geoforma alargada de la cuenca.
- Variaciones extremas en los valores pico de precipitación.
- Alta susceptibilidad ante procesos de remoción en masa.

Con base a estas características es claro que múltiples factores concurren para la calificación de torrencialidad de una cuenca, principalmente en este análisis confluyen dos características. La primera relacionada con los parámetros morfométricos propios de una cuenca y la segunda con los factores geológicos y geomorfológicos regionales, cabe anotar también que los factores climáticos, como lluvias intensas en un tiempo corto, juegan como agentes desencadenantes de estos fenómenos. A continuación, se muestran las variables utilizadas y con las que se cuenta para el estudio de la amenaza por torrencialidad.

Figura 16. Insumos. Tomado de Estudios CAR 2016.



Variables de amenaza de torrencialidad

El análisis morfométrico está constituido por un sin número de índices y coeficientes; se utilizaran el Índice de Compacidad o de forma de Gravelius, la pendiente media y la densidad de drenaje, que en conjunto definen la facilidad para concentrar la escorrentía, la oportunidad de infiltración, la velocidad y capacidad de arrastre de sedimentos, la eficiencia o rapidez de la escorrentía y de los sedimentos para salir de la cuenca luego de un evento de precipitación y con ello inferir cual podría ser el nivel de susceptibilidad a las crecidas.

Inicialmente, se realizarán ajustes a los valores establecidos por Henao (1998) donde se asignaron 6 clases que a su vez se agruparon en tres niveles a cada uno de los índices morfométricos calculados. Al integrar los índices, se generarán un conjunto de posibles combinaciones a partir de las cuales se definieron seis (6) clases morfométricas basadas en la posible respuesta de los torrentes ante un evento de precipitación, inicialmente por la influencia que tiene la densidad de drenaje en el comportamiento y en la respuesta de los cauces a generar escorrentía superficial, seguido por la pendiente y el coeficiente de forma de la cuenca. En síntesis, las clases morfométricas vienen definidas por la integración de la densidad de drenaje, la pendiente media de los torrentes y su coeficiente de forma, las cuales generan características muy particulares que permiten evaluar la respuesta de los torrentes, desde muy lenta hasta muy rápida y violenta, para generar crecidas torrenciales.

A continuación, se muestra los factores utilizados y la ponderación establecida.

Tabla 10 Ponderación de factores de la clasificación morfométrica

Índices Morfométricos	Categorías					
	1	2	3	4	5	6
Densidad de drenaje (Km/Km²)	< 1,00	1,00 – 1,50	1,51 – 2.00	2,01 – 2.50	2,51 – 3,00	> 3
	Muy Baja	Baja	Moderada	Moderadamente Alta	Alta	Muy Alta
Pendiente media de la cuenca (%)	< 12	12 – 20	21 – 35	36 – 50	51 – 75	>75
	Suave	Accidentado	Fuerte	Muy Fuerte	Escarpado	Muy Escarpado
Coeficiente de compacidad	>1,625	1,501-1,625	1,376 -1,500	1,251- 1,375	1,126 – 1,250	1,00 – 1,125
	Oval-oblonga a rectangular-oblonga		Oval-redonda a oval-oblonga		Casi redonda a oval-redonda	

El Coeficiente de Compacidad KC, es una relación entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de una circunferencia con la misma superficie de la cuenca. Una cuenca tiende a ser alargada si el índice de compacidad es mayor a 1.5, mientras que su forma es redonda, en la medida que el índice tiende a 1. Este factor es un referente para establecer la dinámica esperada de la escorrentía superficial en una cuenca, teniendo en cuenta que aquellas cuencas con formas alargadas tienden a presentar un flujo de agua más veloz, a comparación de las cuencas redondeadas, logrando una evacuación de la cuenca más rápida, mayor desarrollo de energía cinética en el arrastre de sedimentos hacia el nivel de base.

La Densidad de Drenaje DD, se refiere a la cantidad de drenajes expresada en términos de longitud, en la superficie de una cuenca en unidades de área. Principalmente se utiliza para determinar la disponibilidad hídrica de la cuenca en cada uno de

sus sectores, asumiendo directa proporcionalidad entre la densidad, la disponibilidad de agua y la energía de arrastre en un área determinada.

Una vez valorada la información para las cuencas del municipio de efectuó una tabla consolidada de los rangos de las microcuencas para luego integrar los resultados en niveles de 1 a 3 según la clase morfo métrica.

Una vez analizada la condición morfo métrica se analizarán los índices de precipitación en las cuencas, luego sus unidades de estabilidad relativa y finalmente los índices de protección total asociados a las coberturas vegetales, a cada una de las variables de les da un peso y con la información tomada en campo y de manera indirecta; para así generan a escala 1:2000 raster de morfología, precipitación, estabilidad relativa y protección total, valorados de 1 a 3 siendo 1 bajo, 2 medio, y tres alto, cada raster con un peso específico que se presenta más adelante y finalmente a través de un algebra de raster generar el raster definitivo de amenazas por avenida torrencial con niveles alto, medio y bajo.

La precipitación. Es un factor de gran importancia para determinar la potencialidad torrencial que presentan los cursos de agua, ya que constituye un agente activador de fenómenos torrenciales. Por cuanto la metodología está orientada a la identificación y zonificación de áreas potencialmente torrenciales y no al diseño de obras de control de crecidas o establecimiento de medidas en vertientes, resultó pertinente evaluar este parámetro a través de la generación del mapa de isoyetas anuales. El índice de protección del suelo permitirá determinar el grado de protección que la vegetación brinda al suelo, donde la vegetación arbórea densa constituye la protección más eficaz

Estabilidad relativa se basará en la evaluación de las diferentes unidades de Estabilidad Relativa establecidas por Duarte (2002), con base en la combinación de aspectos geológicos, geomorfológicos y de pendiente. Tal investigación analizó las diferentes categorías de áreas estables, potencialmente inestables, e inestables, considerando la influencia que representan cada una de ellas frente a la ocurrencia de crecidas torrenciales. Sin embargo, sólo se consideraron aquellas unidades cuya representación en el plano es área; por tanto, no se incluyeron las unidades potencialmente inestables por cercanía a superficies recientes de ruptura (Pif), por amenaza de aludes sísmico (Pia) y por evidencias de represamiento (Pir), por ser lineales y puntuales. La evaluación de dichas unidades se realizó con base en el mapa de Estabilidad Relativa.

Una vez desarrollados cada uno de los parámetros que convergen en el análisis de avenida torrencial se incluyen en la matriz definida como matriz de valoración por parámetros, en donde se le asignan pesos a cada parámetro, cuantificando cada uno de la siguiente manera, un 35% para la precipitación, 25% para la estabilidad relativa, 25% para la morfología, y un 15% para el índice de protección total, siendo así la suma algebraica de estos parámetros la que finalmente define la condición de amenaza por avenida torrencial sobre el área de estudio. Dicha suma algebraica se realiza mediante un algebra de raster a través de herramientas de sistemas de información geográfica, ya que para cada parámetro se generarán capas tipo raster con la información analizada a escala 1:2000.

Tabla 11 Valoración de parámetros

		Rangos o categorías		valor
Parámetros	precipitación 35%	< 701 mm		1
		701-1100 mm		2
		>1100 mm		3
	Unidades de Estabilidad Relativa 25%	Estables	Con pocas limitaciones	1
		Potencialmente Inestables	Por procesos erosivo	2
			Por problemas relacionados por drenaje	
			Por pendiente	
			Por movimientos de masa	
		Inestables	Por olas de descarga	3
			Por movimientos de masa	
	Morfometría 20 %	Clase I y Clase II		1
		Clase III y Clase IV		2
		Clase V y Clase VI		3
	Índice de Protección 15 %	0.8-1		1
		0.6-0.8		2
		0.1-0.6		3

Matriz de valoración de parámetros

Tabla 12 Ponderación de factores de susceptibilidad por avenida torrencial

Nivel	Rango Descripción
Bajo 1	Son áreas que se activan como respuesta a lluvias de larga duración cubriendo zonas extensas. Generalmente, son los interfluvios
Medio 2	Predominan precipitaciones medias anuales entre 700 y 900 mm. Presentan una cobertura vegetal variada desde los bosques hasta cultivos, potencialmente inestables por movimientos en masa, pendiente, procesos erosivos y crecientes de los cursos de agua; una respuesta hidrológica moderadamente rápida. Generalmente presentan crecidas en las épocas de mayor precipitación.
Alto 3	Áreas potencialmente inestables por pendiente y movimientos en masa; poseen una respuesta hidrológica rápida con una cobertura del suelo que incluye matorrales, asociación de cultivos y Áreas pastizales y vegetación arbustiva, . Desde el punto de vista geológico-geomorfológico, son áreas inestables y potencialmente caracterizadas por presentar fuertes precipitaciones y condiciones de humedad antecedentes altos, con predominio de cultivos,pastizales y inestables que responden rápida y violentamente a lluvias de alta intensidad y corta duración, generando crecidas torrencialespastizales naturales.

Nota//. *Para la zonificación de la amenaza, esta se categorizará en alta, media y baja, dependiendo de la frecuencia de presentación de los eventos y sus características: la profundidad de la lámina de agua, los materiales de arrastre y la velocidad del flujo.*

Geomorfología

Cada geoforma es generada por diferentes procesos, los cuales determinan su morfología y estructura. La génesis y forma del relieve son factores que inciden en la estabilidad del terreno. Las zonas montañosas de Colombia presentan una alta variedad de formaciones geológicas en superficie y de suelos desarrollados a partir de esos materiales, los cuales son

propensos a ser afectados por el intemperismo y/o la acción modeladora del medio. Esta situación con lleva a la formación de geoformas propensas a los procesos de remoción en masa.

De forma general, la morfogénesis explica el surgimiento de las formas del relieve a partir de las condiciones climáticas y ambientales. Para la calificación de la susceptibilidad desde el punto de vista morfogenético se tomaron en cuenta dos criterios:

- Procesos dominantes y altura relativa del relieve: la caracterización de los procesos de acumulación y erosión que configuran cada forma de relieve, son aspectos fundamentales que definen las dinámicas actuales que genera los procesos de remoción en masa.
- Grado de inclinación de la pendiente media de la geoforma. El grado de inclinación de las geoformas es derivado de los procesos morfogénicos que la formaron y que determinan los procesos y dinámicas actuales

Figura 17. Criterios para la calificación de las unidades geomorfológicas (morfogénesis).

Criterio 1. Procesos dominantes y altura relativa del relieve	Criterio 2. Pendiente
Predominan procesos acumulativos, se presentan formas con altura relativa menor.	Pendiente Muy Baja a Baja
Ocurrencia de procesos acumulativos y erosivos. Formas altas y bajas con altura relativa media.	Pendiente Leve a Moderada
Predominan procesos erosivos, algunos procesos acumulativos. Formas altas y bajas, altura relativa moderada	Pendiente Moderada a Moderadamente Fuerte
Predominan procesos erosivos, predominan formas altas con pendiente suave a abrupta y altura relativa considerable.	Pendiente Fuerte
Predominan procesos erosivos. Formas abruptas y de altura relativa considerable	Pendiente muy Fuerte

Fuente: Adaptado de SGC, 2011

Del ejercicio de priorizar cada una de las unidades geomorfológicas y calificarlas por las anteriores tablas se cuenta con el producto final que se califica, el producto muestra valores altos para las laderas erosiónales y todos los depósitos identificados.

- Formas de origen estructural
- Formas de origen denudacional
- Formas de origen fluvial
- Formas de origen glacial
- Formas de origen volcánico
- Formas de origen marino litoral
- Formas de origen eólico
- Formas de origen Cárstico

- Formas de origen Antrópico.

Se tuvo en cuenta la clasificación y definición de unidades geomorfológicas definidas por el IDEAM.

Caracterización de aportes de sedimentación

El aumento de carga de sedimentos dentro de una cuenca torrencial puede genera la ocurrencia de una avenida torrencial, es por lo anterior que es necesario un análisis de dichos procesos para identificar cuencas torrenciales con aporte de materiales significantes que permitan identificar posibles eventos torrenciales. Los aportes de sedimentación son originados principalmente por los procesos denudacionales presentes dentro de la cuenca, asumiendo que no existe aportes antrópicos, se consideran dos procesos fundamentales: erosión y movimientos en masa, estos últimos también se consideran como variables detonantes, por lo que su análisis se abarcará en ese capítulo. Dado lo anterior, se considera dentro de este capítulo la realización de un análisis de los procesos de erosión y también su proceso de especialización.

Para la elaboración a escala 1.25.000 s debe tener en cuenta el cálculo de la susceptibilidad a amenaza por movimientos en masa, en el cual se hayan considerado las variables como la geología, geomorfología, morfometría del terreno entre otras; posteriormente se incluye los detonantes de la aceleración sísmica a nivel de roca, la zonificación climática y la precipitación máxima o niveles de agua para el calculó final de amenaza.

Caracterización de Coberturas

La cobertura y el uso del suelo tienen una gran importancia en la evaluación de procesos de avenida torrencial, puesto que la influencia de esta puede generar amenaza o estabilidad en diferentes terrenos de acuerdo con sus características. Esto hace referencia al recubrimiento de la superficie terrestre de origen natural o cultural.

El uso del suelo hace referencia a las actividades y funciones que son desarrolladas por el hombre sobre la superficie del suelo para obtener productos y beneficios. La cobertura del suelo es un factor determinante para identificar la erosión y la infiltración de aguas de escorrentía.

Se debe revisar las coberturas del suelo, los cuales influyen en la generación de los eventos, teniendo en cuenta que hay sectores que se encuentren descubiertos o expuestos a cambios frecuentes de usos, que contribuyen a la saturación rápida de los suelos, por lo que gran parte de la lluvia no se infiltra y se aumenta considerablemente la cantidad de agua por escorrentía. Dentro de los usos y coberturas a analizar se deben incluir entre otros, drenajes, bosques, cultivos anuales o transitorios, mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, mosaico de pastos y cultivos, pastos, zonas urbanizadas, áreas agrícolas heterogéneas y áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva.

Zonificación

Para generar la zonificación de la amenaza por avenidas torrenciales se desarrolla en primera instancia, una zonificación de la susceptibilidad en función de la geomorfología, cobertura, pendiente, e IVET. que presenta el área de interés.

Finalmente, se integra la amenaza por movimiento en masa, el grado de aporte de sedimentos por unidad hidrográfica originado por procesos de movimientos de masa y erosión, y la susceptibilidad geomorfologica a eventos torrenciales mediante una matriz de decisión de tres entradas para generar la zonificación de amenaza por avenidas torrenciales.

Figura 18 Matriz de variables para zonificación de amenaza por avenida torrencial

		Precipitación, pendiente cobertura e IVET				
		BAJA	MEDIA	ALTA		
Geomorfología	BAJA	BAJA	BAJA	MEDIA	BAJA	Amenaza por procesos
		BAJA	MEDIA	MEDIA	MEDIA	
		MEDIA	MEDIA	MEDIA	ALTA	

MEDIA	MEDIA	MEDIA	MEDIA	MEDIA	BAJA
	MEDIA	MEDIA	MEDIA	MEDIA	MEDIA
	MEDIA	MEDIA	MEDIA	ALTA	ALTA
ALTA	MEDIA	ALTA	ALTA	ALTA	BAJA
	MEDIA	ALTA	ALTA	ALTA	MEDIA
	MEDIA	ALTA	ALTA	ALTA	ALTA

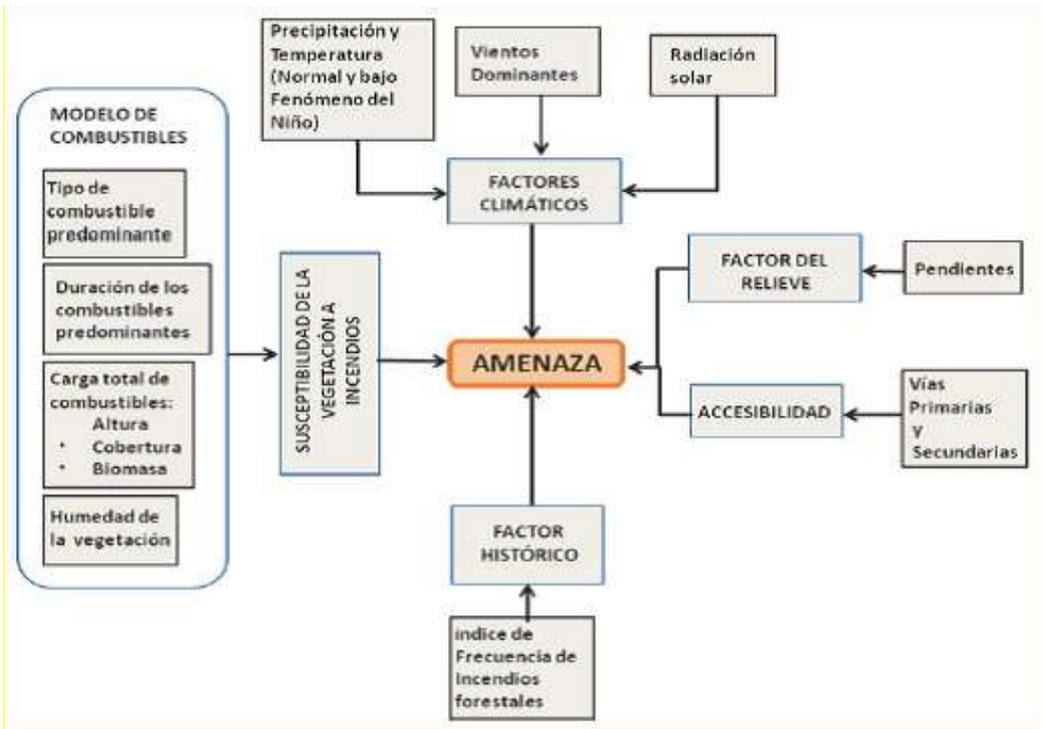
Fuente: Contrato No.1764 de 2019, CAR.

Para la zona urbana y expansión y centros poblados se deberá tener en cuenta la modelación hidráulica, análisis de sedimentos, geomorfología e inventario de procesos morfodinámicos y presentar la metodología que cumpla los requerimientos impuestos en el decreto No.1807 de 2014 a la respectiva escala. Se puede tomar como referencia lo dispuesto en la "GUÍA METODOLÓGICA PARA ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES" del año 2021 del Servicio Geológico Colombiano-SGC.

2.5. ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR INCENDIOS FORESTALES

La Figura muestra el diagrama de flujo que interrelaciona los factores de amenaza de incendios de la cobertura vegetal.

Figura 19 Factores de amenaza de incendios de la cobertura vegetal. Tomado de IDEAM.



Para la realización de la evaluación de amenazas de incendios forestales se requiere de la siguiente información cartográfica:

- Mapa base que contenga límites político-administrativos, centros poblados, hidrografía, curvas de nivel, vías)
- Mapa de cobertura vegetal sistema de clasificación corine land cover
- Mapa de precipitación media multianual (isoyetas)
- Mapa de temperatura media multianual (isotermas)
- Mapas históricos de existencia de incendios forestales a nivel municipal (cantidad de incendios y causas de los mismos)

- Mapa de pendientes
- Mapa vial

Adicionalmente, según sea posible, se pueden incorporar otras variables no consideradas como:

- Dirección de vientos predominantes
- Velocidad de vientos predominantes
- Radiación solar

Integración de factores

Teniendo en cuenta lo anterior se anexa la memoria técnica – Mapa zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal para la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR – 2014, la cual contiene la metodología a seguir para la zonificación de la amenaza por incendios forestales. Pag 15 a 50.

2.6. DELIMITACIÓN Y ZONIFICACIÓN DE LAS ÁREAS CON CONDICIÓN DE AMENAZA.

Con fundamento en la delimitación y zonificación de amenazas, se delimitan y zonifican aquellas áreas sin ocupar del suelo urbano, de expansión urbana, rural suburbano o centros poblados rurales en las que en la revisión o en la expedición de un nuevo POT se proponga su desarrollo.

La identificación de estas áreas se realizará a partir del análisis de las áreas zonificadas como de amenaza alta y media sin ocupar en los estudios básicos con aquellas que se consideren como objeto de desarrollo. En todo caso el desarrollo de las zonas de amenaza media y alta sin ocupar quedará sujeto a los resultados de los estudios detallados.

Con esta información se elabora el mapa con la delimitación y zonificación de las áreas con condición de amenaza y se establecen los criterios para la caracterización y delimitación de las unidades de análisis en las áreas que serán objeto de estudios detallados.

2.7. DELIMITACIÓN Y ZONIFICACIÓN DE LAS ÁREAS CON CONDICIÓN DE RIESGO.

Con fundamento en la delimitación y zonificación de amenazas, se delimitan y zonifican las áreas con condición de riesgo, a fin de priorizar las áreas en las cuales se deben realizar estudios detallados.

La identificación de las áreas con condición de riesgo se realizará a partir del análisis de las áreas zonificadas como de amenaza alta en los estudios básicos, con la información cartográfica (predial o catastral, entre otras) disponible que permita identificar la existencia de elementos expuestos, de áreas urbanizadas, ocupadas o edificadas, así como de aquellas en las que se encuentren edificaciones indispensables y líneas vitales (elementos vulnerables).

Con esta información se elabora el mapa con la delimitación y zonificación de las áreas con condición de riesgo y se establecen los criterios para la caracterización y delimitación de las unidades de análisis que dependen del fenómeno a estudiar y la priorización para la realización de los estudios detallados que permitirán categorizar el riesgo.

2.8. DETERMINACIÓN DE MEDIDAS DE INTERVENCIÓN.

Con base en los resultados de los estudios básicos, se deben determinar las medidas de mitigación no estructurales orientadas a establecer el modelo de ocupación del territorio y las restricciones o condicionamientos para el uso del suelo cuando sea viable, mediante la determinación de normas urbanísticas.

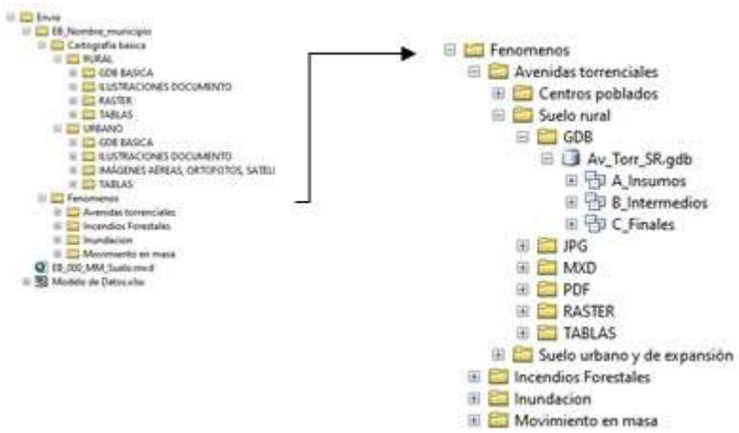
2.9. CARTOGRAFIA

Describir en un documento el desarrollo metodológico para la generación de la cartografía básica y temática, incluyendo planeación del proceso, coordenadas de los puntos de control, las especificaciones y características de los equipos empleados, los archivos crudos, archivos rinex, reportes de precisión (errores de cierre) para los puntos, postproceso de los puntos materializados y tiempos en la captura de la información de conformidad con la técnica empleada.

Una vez generada la información y acorde con la resolución 471 de 2020 a través de la cual se establecen las especificaciones técnicas de referencia que tienen que considerar los productos de la cartografía básica oficial de Colombia, es decir, ortoimágenes, modelos digitales de terreno y bases de datos cartográficas adicionalmente establece un sistema de proyección cartográfica con un único origen para Colombia, conocido como «origen nacional», y en términos de la cartografía temática, que cumpla con las metodologías y escalas de trabajo así: 1:5.000 para las amenazas por inundación y movimientos en masa y 1:2.000 para la evaluación de avenida torrencial en suelo urbano, expansión urbana, centros poblados, y en suelo rural a escala 1:25.000 para todos los fenómenos, se debe presentar el estudio de acuerdo con los siguientes requerimientos:

- Metadatos: crear para cada archivo raster o shapefile el contenido de metadatos según ISO 19115 (del software ArcGIS), Información geográfica - Metadatos y esquema XML.
- Modelo de datos y estructura de la Geodatabase: Se debe agrupar las capas geográficas según tipo de cartografía, insumo, análisis intermedio y productos finales por cada fenómeno y clasificación del suelo. Asimismo, definir como mínimo los atributos y relaciones definidos en el Modelo de datos para la presentación ante la CAR como se observa en la siguiente figura:

Figura 20 Modelo de organización de cartografía



- Revisar la resolución 495 de julio de 2022, emitida por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, por la cual se adopta el Modelo de Datos Extendido LADM_COL-POT para la formulación de Planes de Ordenamiento Territorial, en el anexo 1 del documento técnico desde la pagina 32 a la 35 donde habla de los Estudios Básicos de Riesgos, más exactamente de los finales que son: zonificación de la amenaza, condición de la amenaza y condición de riesgos
- Topología: libre de errores topológicos.
- Documento de Mapa: Las salidas graficas debe contener como mínimo, Nombre del mapa, Logos, Escala de trabajo numérica y gráfica, convenciones y leyenda, Sistema y proyección de Coordenadas, localización general del área objeto de estudio, Ruta de almacenamiento y descripción del mapa y de los shapefiles. Adicionalmente, se deben presentar en formato PDF y JPG en tamaños carta y pliego. El documento técnico como cada uno de los planos los deberán firmar los profesionales matriculados y facultados para elaborar los estudios técnicos de gestión del riesgo, que hayan participado en el estudio.

- Las capas finales para cada fenómeno y escala de trabajo, deberá tener dos sistemas de coordenadas que son Magna_Colombia_Bogota y en el nuevo origen según la resolución 471 de 2020 del IGAC.
- Anexos: Disponer los datos crudos, archivos de la modelación de hidrología, geomorfología, fotografías y demás información utilizada en el desarrollo de los estudios técnicos.

Responsables:

Angela Martínez López
Dirección de Gestión del Ordenamiento Ambiental y Territorial - DGOAT

Proyectó: Christian Camilo Gutiérrez Angulo
Carlos Andrés Rodríguez Baquero
Cesas Augusto García Cortes
Anyi Carolina González