



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

ANEXO TÉCNICO No. 2B

**ESTUDIOS BÁSICOS
“AMENAZA POR INUNDACIÓN”
SUELO URBANO Y DE EXPANSION**

**INSTITUTO DISTRITAL DE GESTIÓN DE RIESGOS Y CAMBIO CLIMÁTICO – IDIGER
SUBDIRECCIÓN DE ANÁLISIS DE RIESGOS Y EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO.**

Grupo de Trabajo Temático Inundación

Bogotá D. C, abril de 2021



ÍNDICE GENERAL

1	INTRODUCCIÓN	5
2	OBJETIVOS	7
2.1	Objetivo General	7
2.2	Objetivos Específicos	7
3	ALCANCE	8
4	ESCENARIO DE AMEENZA POR INUNDACIÓN	8
4.1	Amenaza por Inundación por Encharcamiento (<i>Ver Detalle “ANEXO TECNICO 2B-1 – Encharcamiento”</i>)	8
4.1.1	Metodología	9
4.2	Amenaza por inundación por desbordamiento (<i>Ver Detalle “ANEXO TECNICO 2B-2 – Desbordamiento”</i>).....	12
4.2.1	Metodología	12
4.3	Amenaza por inundación por rompimiento de jarillón (<i>Ver Detalle “ANEXO TECNICO 2B-3 – Rompimiento”</i>).....	16
4.3.1	Metodología	17
5	MAPA DE AMEENZA POR INUNDACIÓN NORMATIVO ADOPTADO	20
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	21
6.1	Escenario inundación por encharcamiento	21
6.2	Escenario de inundación por desbordamiento.....	21
6.3	Escenario de inundación por Rompimiento de jarillón	23
7	ANEXOS	24



ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 4.1. Mapa de inundación por encharcamiento de Bogotá</i>	11
<i>Figura 4.2. Metodología propuesta de zonificación de amenaza por inundación por desborde</i>	13
<i>Figura 4.3. Matriz amenaza por inundación</i>	14
<i>Figura 4.4. Mapa de amenaza por inundación por desborde</i>	15
<i>Figura 4.5. Proceso Metodológico de identificación de las áreas de amenaza por inundación por rompimiento de jarillones “zona de riesgo residual”</i>	17
<i>Figura 4.6. Mapa de amenaza por inundación por rompimiento de jarillones en Bogotá D.C.</i>	19
<i>Figura 5.1 Mapa De Amenaza Por Desbordamiento y Por Rompimiento de Jarillón</i>	20

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 4.1. Matriz para la zonificación de amenaza por Encharcamiento</i>	10
<i>Tabla 4.2. Matriz para la zonificación de amenaza ajustado de PLANAT, 2005.</i>	14
<i>Tabla 4.3. Matriz para la zonificación de amenaza por rompimiento de jarillón</i>	18



LISTA DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS

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



1 INTRODUCCIÓN

En el Artículo 3 del Decreto 173 de 2014 “*Funciones del Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático – IDIGER*” El Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático – IDIGER como entidad encargada del Sistema Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático -SDGR-CC, cumplirá las funciones establecidas en el Acuerdo Distrital 546 de 2013 dentro de las cuales se destacan:

Actuar como autoridad técnica distrital en materia de la gestión de riesgos. Para tales efectos, el IDIGER deberá:

- Elaborar y actualizar los estudios y la zonificación de amenaza, vulnerabilidad y riesgos, requeridos para la gestión de riesgos en el Distrito Capital.
- Emitir los conceptos técnicos de riesgo que le corresponda o que le sean requeridos al interior del Sistema, así como los previstos en el Plan de Ordenamiento Territorial, los decretos reglamentarios y las demás disposiciones o planes que así lo requieran o establezcan.
- Emitir conceptos sobre gestión de riesgos en el marco del SDGR - CC, para la viabilidad de proyectos de inversión pública en el Distrito Capital, cuando estén definidos por los planes y programas que lo desarrollan, y/o las normas distritales o nacionales.

Para la actualización de los planos oficiales del Plan de Ordenamiento Territorial, conforme al Artículo 471 del Decreto 190 de 2004, se previó que la Secretaría Distrital de Planeación actualizará los planos oficiales adoptados por este Decreto, con base en los actos administrativos que desarrolle el Plan, con el objeto de mantener actualizada la cartografía temática en cada uno de los niveles de información que la conforman.

Conforme a ello, el plano de amenaza por inundación adoptado en el Decreto 190 de 2004 fue actualizado mediante la Resolución 1641 de 2020, expedida por la Secretaría Distrital de Planeación.

El Decreto 1807 de 2014 (compilado en el Decreto 1077 de 2015), reglamenta la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenamiento territorial, entre otras disposiciones, en su Artículo 9° hace referencia a los estudios básicos para determinar las condiciones de amenaza por inundación en suelos urbanos, de expansión urbana y rural.

Por tanto, el presente informe corresponde al Anexo Técnico de la actualización del mapa normativo de Amenaza por Inundación para las zonas urbanas y de expansión urbana a escala 1:5000, elaborado por el Instituto Distrital para la Gestión del Riesgo y el Cambio Climático – IDIGER en apoyo de la Secretaría Distrital de Planeación-SDP, en el marco del proyecto de actualización del componente de gestión del riesgo para la revisión ordinaria del plan de ordenamiento territorial.



Como se mencionó anteriormente, para la actualización del mapa se tienen en cuenta las consideraciones del Decreto Nacional 1807 de 2014, por lo tanto, el desarrollo de este documento evidencia el cumplimiento de dicha normatividad.

Para el desarrollo del mapa, se contó con información base suministrada por la empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAB - ESP), Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR, la Secretaría Distrital de Ambiente (SDA) y La Secretaría Distrital de Planeación (SDP), así como el reconocimiento de campo que permitió validar los resultados obtenidos durante los trabajos de modelación y evaluación de la amenaza.

Conforme con la normatividad vigente, y con los elementos que requiere una ciudad que garantice la seguridad de sus habitantes en temas asociados a los riesgos que generan las inundaciones sobre los habitantes, la infraestructura instalada y las viviendas, el Distrito Capital, en cabeza de la Secretaría Distrital de Planeación y el IDIGER, como autoridad en temas de gestión de riesgo en la ciudad, decidieron generar sinergias, generando así, los resultados del presente documento.

En el marco de la revisión y actualización que se realiza al mapa de amenaza por inundación de la ciudad de Bogotá por parte de la Secretaría Distrital de Planeación - SDP con el apoyo del Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático – IDIGER, se realizaron varias visitas técnicas a diferentes sitios localizados a lo largo de los ríos Bogotá y Tunjuelo en la zona del Distrito Capital, con el fin de reconocer las condiciones actuales del río y verificar las obras realizadas en el marco del proyecto de la adecuación hidráulica del Río Bogotá ejecutado por la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR, así como, identificar diferentes puntos críticos, en los que se puede llegar a manifestar la amenaza por inundación en las zonas aledañas a los ríos.

Considerando que las medidas estructurales para la mitigación del riesgo implementadas en la ciudad referentes al río Bogotá y Tunjuelo en el marco de los establecido en el Decreto 190 de 2004, reducen la amenaza por inundación más no lo eliminan, y, teniendo en cuenta las características morfológicas del terreno, se planteó la necesidad de definir unas zonas donde se pudiera manifestar la amenaza por inundación por rompimiento de jarillón, la cual representa determinado nivel de riesgo que permanece, tras ejecutar las obras de mitigación y/o reducción de los riesgos, y son estas las zonas donde se debe contar con los análisis de riesgo respectivos, para garantizar que no se presentarán cambios negativos en la condición de amenaza y por ende del riesgo.

Estos análisis están enmarcados conforme con la Ley 1523 de 2012 en sus artículos 38 y 42; donde se deben considerar los posibles efectos de eventos naturales sobre la infraestructura instalada que está expuesta por falla de las obras de adecuación hidráulica, ya se origine esta, de manera natural o antrópica, y aquellos que se deriven de los daños de la misma en su área de influencia.

Con base en estos análisis, se deben diseñar e implementar las medidas de reducción del riesgo y planes de emergencia y contingencias.



Este anexo técnico, se divide en 7 capítulos, dentro de los cuales se encuentran especificados los objetivos y alcances planteados para el desarrollo del mapa, la consulta y análisis de información existente suministrada, la selección y análisis de la metodología de amenaza implementada con sus respectivos análisis geomorfológicos, de eventos históricos, hidrológicos e hidráulicos, las conclusiones y recomendaciones y los anexos técnicos que soportan todos los resultados referenciados en el presente documento.

Finalmente, se muestra el mapa definitivo de zonificación de las áreas en amenaza alta, media y baja de inundación para los suelos urbanos y de expansión urbana a escala 1:5000, con sus respectivas conclusiones y limitaciones generadas durante el desarrollo del mismo.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

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

2.2 Objetivos Específicos

1. Revisar y analizar la información base suministrada por la empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAB - ESP), la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR y la Secretaría Distrital de Ambiente (SDA), para definir su pertinencia en el desarrollo del mapa de amenaza por inundación.
2. Revisar metodologías para la evaluación de la amenaza, de uso común incluyendo las usadas en la construcción de los planos normativos vigentes.
3. Seleccionar una metodología para la evaluación de la amenaza o combinación de varias que sean aplicables a la zona urbana, de expansión urbana y rural, a partir de la información disponible.
4. Delimitar y zonificar las áreas con condición de amenaza, en zona urbana, de expansión urbana y rural.



3 ALCANCE

El presente anexo técnico, tiene como alcance presentar de manera resumida el soporte técnico de las distintas actividades ejecutadas para la actualización del plano normativo de Amenaza de Inundación para los suelos urbano y de expansión de Bogotá D.C.; en cumplimiento a lo establecido en el Decreto 1807 de 2014 (compilado por el Decreto Nacional 1077 de 2015).

4 ESCENARIO DE AMEENZA POR INUNDACIÓN

Las inundaciones son fenómenos meteorológicos e hidrológicos asociados a características climáticas, morfológicas e hidráulicas, clasificándola como una amenaza de gran impacto debido a las magnitudes en pérdidas económicas y de vidas humanas por ser el fenómeno más recurrente y con mayor número de registros, (Banco Mundial, 2012); (Domínguez y Lozano, 2014); (IPCC, 2007); (Coll, 2013); (Castrillón Ocampo, 2014); (Sedano, 2013); (CNE,2011), clasificándolo como un fenómeno hidrológico potencialmente destructivo, que hacen parte de la dinámica de evolución de una corriente (IDEAM, 2014). En años recientes, las pérdidas por inundaciones se han incrementado debido a diversos factores antropogénicos entre los que se mencionan, el incremento de urbanizaciones, cambio de uso de suelo, ubicación de asentamientos humanos sin control en áreas de inundación y cambios en la distribución temporal y espacial de las lluvias, incrementado la ocurrencia y la magnitud de las inundaciones, (Lopez,2006); (Sedano, 2013), (CENAPRED, 2014).

Para Bogotá se identificaron tres (3) escenarios de inundación los cuales se presentan a continuación:

4.1 Amenaza por Inundación por Encharcamiento (*Ver Detalle “ANEXO TECNICO 2B-1 – Encharcamiento”*).

Las inundaciones urbanas se deben básicamente a una falta de planeación de las actividades antrópicas, que alteran el medio (cuencas) de forma acelerada propiciando este tipo de fenómenos, olvidando que son un proceso normal dentro de las dinámicas de los cauces cuyas frecuencias varían según el cuerpo de agua superficial, (CENAPRED, 2004); (CONAGUA, 2011) , cuyos detonantes se deben a la invasión de las planicies de inundación y al desarrollo urbano e industrial en zonas de protección como lo son las rondas de los cauces, generando una presión al medio, que no permite una transición adecuada entre la actividades antrópicas y ecosistémicas.

En este contexto de desarrollo urbano creciente, en muchos casos con bajos y nulos procesos de planificación, aparecen las inundaciones como una amenaza que se ve agravada por la incapacidad de los suelos impermeabilizados de absorber grandes volúmenes de lluvias, sumado a las modificaciones de los drenajes y el patrón natural de los mismos. Lo anterior, modifica el comportamiento de las cuencas hidrográficas, incrementado la frecuencia y la magnitud de los caudales de crecidas, ya que la escorrentía directa producto de precipitaciones ya no es controlada por el medio si no que son reemplazados por una serie de sistemas antrópicos redes para la conducción del agua como sistemas de drenaje pluvial, sanitario y combinado, canales artificiales,

Página 8



o mediante la canalización de cuerpos naturales o quebradas, entre otras estructuras (IDEAM, 2014); (Benavides y León, 2007)

Bogotá se caracteriza por tener zonas que no hacen distinción entre las aguas lluvias y las aguas servidas lo que obliga a que el sistema capte el agua y la transporte rápidamente aguas abajo, afectando a las poblaciones aledañas al distrito, cuerpos de agua receptores y la biodiversidad, enfrentándolos a problemas de inundación, sanitarios y de salubridad, sumado a las contrariedades de olores fétidos, (Decreto 528, 2014). Dichas soluciones fracasaron al presentarse el gran desarrollo de la ciudad entre los años 80 y 90, típicos de las grandes áreas urbanas de América Latina, donde el incremento de la vulnerabilidad física, ambiental, económica sociocultural e institucional ante las inundaciones; Bogotá y otras ciudades como Lima, Río de Janeiro y Buenos Aires han generado grandes inversiones en infraestructura básica para atender la deficiencia del servicio de suministro de agua y redes de alcantarillado, así como estructuras para el control y mitigación de inundaciones de diferentes fuentes, en las que se destaca los encharcamientos especialmente en épocas en que sucede el fenómeno de variabilidad climática de la Niña.

Teniendo en cuenta esta problemática dentro del análisis realizado para la actualización del mapa de inundaciones surgió la necesidad de contar con un mapa que identifique la amenaza alta, media y baja de inundación por encharcamiento, a continuación, se describe la metodología utilizada para generar dicho mapa y el detalle del análisis se presenta en el **ANEXO TECNICO 2B-1 – Encharcamiento**

4.1.1 Metodología

La combinación de modelos hidrológicos con la herramienta SIG, además de la utilización de la base cartográfica Lidar, han permitido crear dos modelos: un modelo básico de terreno detallado que permite estimar las diferentes zonas deprimidas o bajas de la ciudad en función de la altura y un modelo ampliado que calcula además los volúmenes de las zonas deprimidas, para posteriormente compararlo con el volumen de lluvia que se puede generar bajo la ocurrencia de precipitaciones con diversas intensidades, duraciones y frecuencias, que corresponde a la cantidad de lluvia que haría falta para llenarlos.

Las zonas de amenaza por encharcamiento permiten describir una depresión o una batea en el terreno, que pone especial énfasis en la altura de lámina de agua de inundación que pueda presentar dichas áreas en caso de la ocurrencia de un aguacero, lo cual conllevaría a poner en peligro o generar la afectación de los elementos situados dentro de sus límites o en su proximidad.

El modelo de análisis acá planteado se basa en el concepto hidrológico de que cada zona deprimida o batea del terreno tiene una cuenca hidrográfica local: el área que aporta flujo a esa área y no a otra. Mediante el cálculo del volumen del área encharcada y el área de su cuenca hidrográfica, puede determinar cuánta precipitación se necesita para llenar la depresión: es el

Página 9

volumen dividido por el área. Por ejemplo, si el volumen de una depresión o batea es de 1.500 m³ y su cuenca hidrográfica tiene 20.000 m², la precipitación necesaria para llenar el área deprimida hasta el punto de rebosamiento es $1.500 \text{ m}^3 / 20.000 \text{ m}^2 = 0,075 \text{ m} = 75 \text{ mm}$.

El valor principal de los dos modelos radica en la identificación de las áreas bajas, que permiten tomar decisiones bien fundamentadas sobre dónde se requiere adelantar medidas preventivas o correctivas en las redes de alcantarillado existentes o proyectadas, que permitan redundar la eficiencia y capacidad hidráulica de los sistemas de alcantarillados pluvial y/o combinados, por encontrarse ya urbanizado o dónde se debe combinar la construcción con arquitecturas del paisaje especiales. En las áreas que ya están urbanizadas y las áreas que no están desarrolladas, los mapas de amenaza por encharcamiento se pueden usar para dar prioridad a las zonas que requieren realizar estudios detallados para realizar las intervenciones respectivas, ya sean mejoras, mantenimientos periódicos e incluso la ampliación de la capacidad hidráulica de la red de alcantarillado existente o proyectada.

Finalmente, con el fin de simplificar el modelo de estimación de la *amenaza por encharcamiento*, se optó por definir que el encharcamiento se presenta si y solo si, la red de alcantarillado presenta falla funcional, ya sea por: colmatación de escombros o basuras, estrangulación de algún segmento de la red de alcantarillado, reflujos, falla funcional de planta elevadora, lluvias intensas superiores a las lluvias de diseño entre otras; es decir, el análisis de la amenaza de encharcamiento no involucra, ni tiene en cuenta las características, ni funcionamiento de la red de alcantarillado, lo anterior permite identificar las zonas con susceptibilidad al encharcamiento

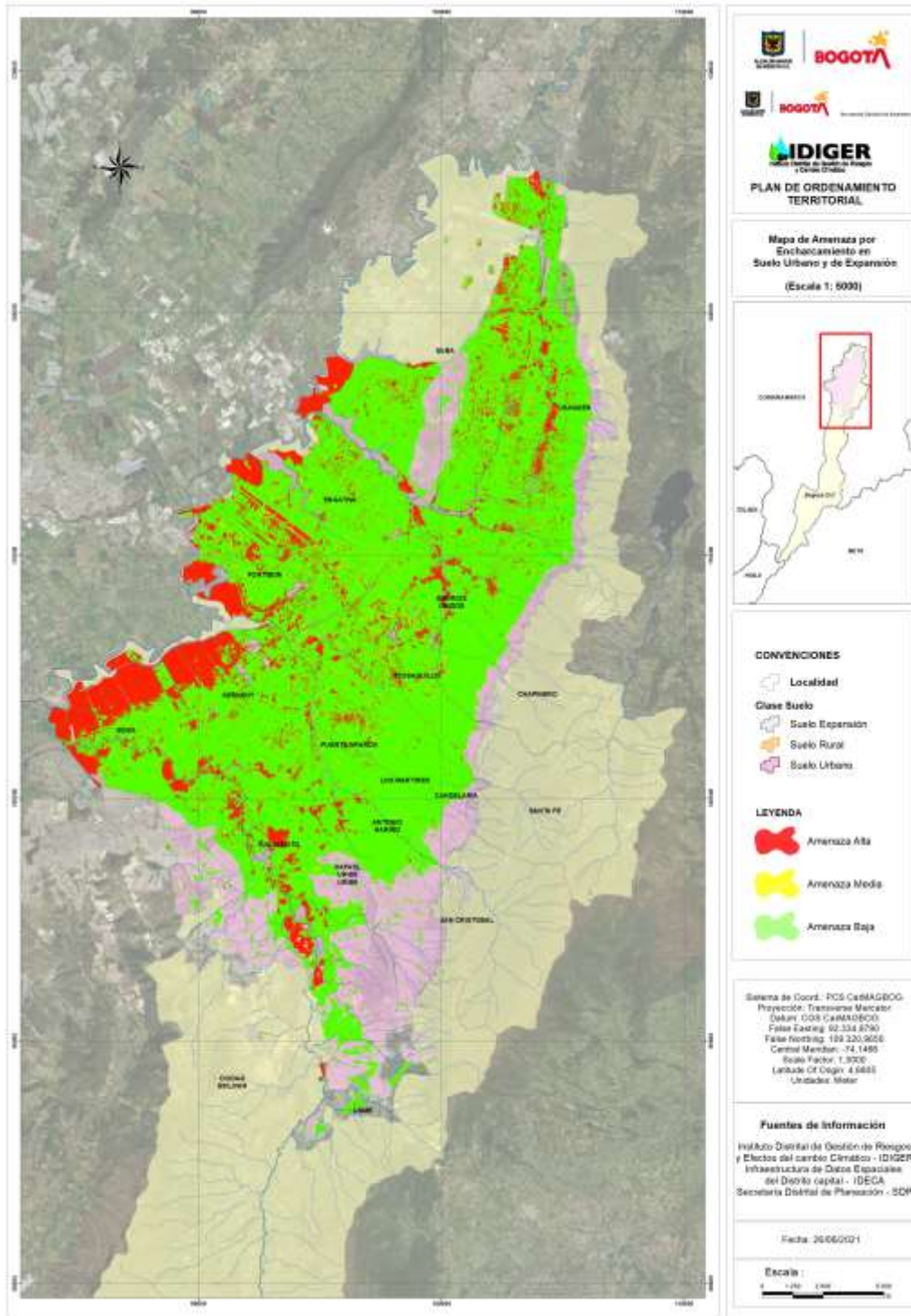
De acuerdo con los análisis descritos anteriormente, cuyo detalle de presenta en el **ANEXO TECNICO 2B-1 – Encharcamiento** se determinaron los rangos de afectación de las diferentes alturas de láminas de aguas generadas por los posibles encharcamientos, tal como se describe a continuación en la Tabla 4.1

Tabla 4.1. Matriz para la zonificación de amenaza por Encharcamiento

Amenaza Alta	Zonas deprimidas o bajas con alta susceptibilidad y frecuencia de presentar eventos de encharcamiento, debido a la falla funcional del sistema de alcantarillado pluvial, que generan alturas de láminas de agua superiores a 50 cms, que conllevan a la pérdida de movilidad de la malla vial y compromiso de la habitabilidad de las viviendas.
Amenaza Media	Zonas aledañas a las deprimidas o bajas con media susceptibilidad y frecuencia de presentar eventos de encharcamiento, debido a la falla funcional del sistema de alcantarillado pluvial, que generan alturas de láminas de agua entre 25 cms y 50 cms, que afectan parcialmente la movilidad de la malla vial y comprometen parcialmente la habitabilidad de las viviendas.
Amenaza Baja	Zonas deprimidas o bajas con baja susceptibilidad y frecuencia de presentar eventos de encharcamiento, debido a la falla funcional del sistema de alcantarillado pluvial, donde se generan alturas de láminas de agua inferiores a 25 cms, que reducen la movilidad de la malla vial y restringen temporalmente la habitabilidad de las viviendas.

Teniendo en cuentas las categorías definidas anteriormente y con el desarrollo de la metodología anteriormente expuesta, a continuación, en la Figura 4.1, se presenta el mapa de Amenaza por encharcamiento para Bogotá.

Figura 4.1. Mapa de inundación por encharcamiento de Bogotá





4.2 Amenaza por inundación por desbordamiento (Ver Detalle “ANEXO TECNICO 2B-2 – Desbordamiento”).

Uno de los escenarios de inundaciones identificados para Bogotá corresponde a las inundaciones provocadas por un aumento progresivo del nivel de las aguas contenidas dentro de un cauce, superando la altura de las orillas naturales o artificiales ocasionando una anegación y un desbordamiento y dispersión de las aguas sobre las llanuras de inundación y zonas aledañas a los cursos de agua normalmente no sumergidas, producto de lluvias persistentes y generalizadas en una región determinada.

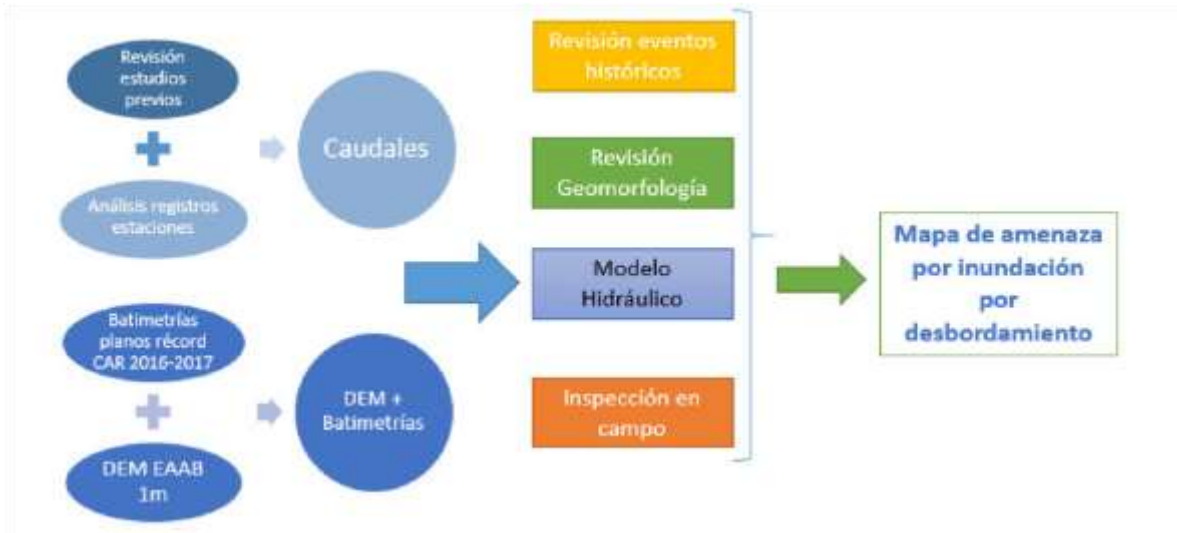
Teniendo en cuenta lo descrito anteriormente dentro del análisis se realizó la actualización del mapa de inundaciones por desbordamiento, a continuación, se describe la metodología utilizada para generar dicho mapa y el detalle del análisis se presenta en el **ANEXO TECNICO 2B-2-Desbordamiento**

4.2.1 Metodología

Para el desarrollo del análisis hidrológico e hidráulico para obtener la zonificación de amenaza por inundación por desborde en la ciudad de Bogotá, se realizan los siguientes pasos y se presenta un esquema simplificado de la metodología empleada.

- Revisión de la información hidrológica asociada a la zona en estudio cuenca media río Bogotá y afluentes principales (Tunjuelo, Fucha, Salitre y Torca). Para esto se hace una recopilación de estudios principalmente de entidades públicas con el fin de tener información base para realizar los análisis hidrológicos.
- Revisión de la información secundaria asociada a análisis hidrológicos e hidráulicos desarrollados para el río Bogotá y afluentes principales (Tunjuelo, Fucha, Salitre y Torca). Esto permitirá entender funcionalidad de algunas zonas de las cuencas analizadas.
- Posprocesamiento de modelos digitales de terreno con incorporación de batimetrías.
- Análisis hidrológico de afluentes. Generación de modelos hidrológicos por cuenca y obtención de hidrogramas de crecientes.
- Análisis de crecientes río Bogotá. Definición de caudales de entrada modelo hidráulico.
- Revisión de la geomorfología para la delimitación de dominio del modelo hidráulico.
- Modelación hidráulica de ríos Tunjuelo, Fucha, Salitre, Torca y Bogotá.
- Verificación de resultados con eventos históricos y trabajo de campo.
- Evaluación de la amenaza por inundación por desbordamiento. Propuesta de zonificación de esta amenaza.

Figura 4.2. Metodología propuesta de zonificación de amenaza por inundación por desborde.



Fuente: SDP 2020

Las modelaciones hidráulicas realizadas en los afluentes principales del río Bogotá y del tramo de la cuenca media del río Bogotá comprendido desde el río Tunjuelo hasta Puente la Virgen, permitió evaluar gran parte de las inundaciones en la ciudad de Bogotá. Esta evaluación fue posible al generar un pos procesamiento de la batimetría entregada por la CAR y las batimetrías de detalle que entregó la EAAB para los ríos Tunjuelo, Salitre y Fucha y el software RiverFlow2D, resultando en manchas de inundación con formato raster del comportamiento de las láminas y velocidades del agua en cada cuerpo de agua evaluado.

Para la zona del río Bogotá se presentaron láminas por el orden de los 0,1 a los 7,4m presentando las mayores profundidades dentro del cauce en el tramo evaluado. Las velocidades máximas están en un rango promedio de 4 m/s en estos tres tramos modelados. Para el río Tunjuelo se presentaron profundidades altas de hasta 30 m en la zona de canteras y velocidades máximas promedio de 1,5 m/s a lo largo del cauce. (Ver detalle en el **ANEXO TECNICO 2B-2-Desbordamiento**)

Para el río Fucha se tienen profanidades máximas promedio por el orden de los 2,8 m y velocidades máximas promedio de 1,7 m/s. Para el río Salitre la profundidad más alta es de 6m y el promedio de velocidades máximas es de 1,5m/s. Y por último, para el río Torca se tienen láminas de agua de hasta 4,7m y las velocidades máximas promedio tienden a ser bajas entre 0,1 y 0,7 m/s.

La matriz utilizada para la zonificación de amenaza se basa en la metodología suiza para elaboración de mapas de amenaza (PLANAT, 2005), de la cual se adaptaron los rangos presentados por la metodología del Departamento del Interior de los Estados Unidos para niños (IDEAM, 2017). Se definen las profundidades máximas teniendo en cuenta los datos característicos de la población colombiana en cuanto a la estatura de los niños y adultos y la velocidad a la que se presentan afectaciones a las vidas humanas. La amenaza potencial a la inundación es una combinación de la intensidad y la frecuencia (periodo de retorno) del respectivo evento, para lo cual se utilizó la siguiente matriz para determinar las diferentes amenazas dentro del área de estudio. El color rojo corresponde a la zona de amenaza alta, el color amarillo a la zona de amenaza media y el color verde a la zona de amenaza baja por inundación. (Ver detalle en el **ANEXO TECNICO 2B-2-Desbordamiento**)

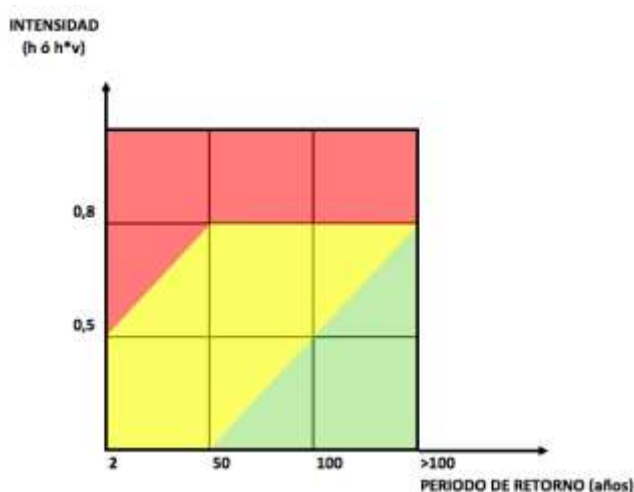


Figura 4.3. Matriz amenaza por inundación
Fuente: Modificado de PLANAT, 2005¹

Los mapas obtenidos se muestran en las figuras siguientes con fines ilustrativos, pero hacen parte de los anexos cartográficos previamente entregado, a la escala requerida por el marco normativo vigente.

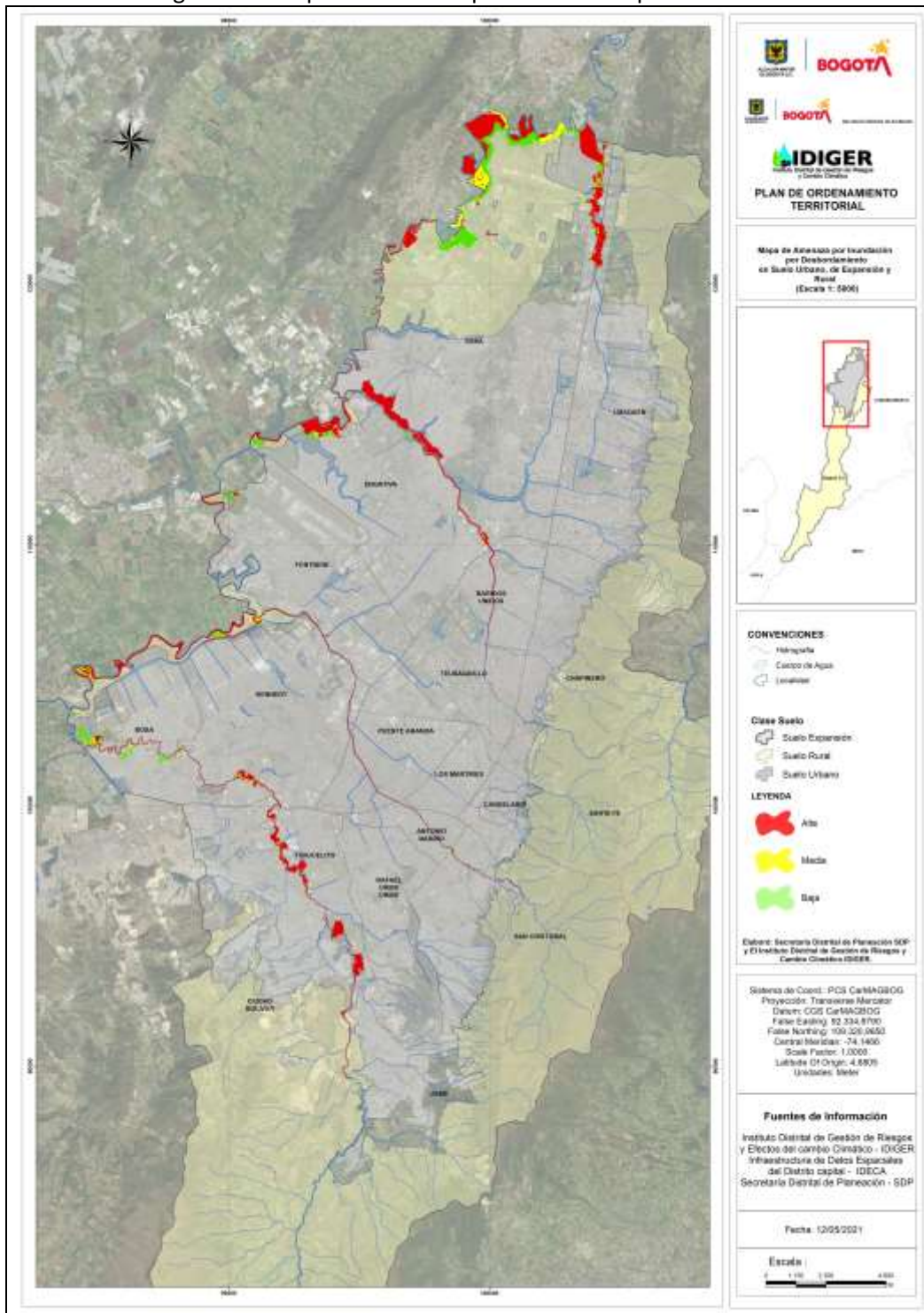
Tabla 4.2. Matriz para la zonificación de amenaza ajustado de PLANAT, 2005.

Fuente: SDP 2020.

ZONIFICACIÓN	DEFINICIÓN
Zonas en amenaza alta	Zona de desborde del cauce delimitada para el caudal con periodo de retorno de 100 años, con una profundidad de flujo o una velocidad por profundidad de flujo superior a 0,8 m/s.
Zonas en amenaza media	Zona de desborde del cauce delimitada para el caudal con periodo de retorno de 100 años, con una profundidad de flujo o una velocidad por profundidad de flujo entre 0,5 m y 0,8 m.
Zonas en amenaza baja	Zona de desborde del cauce delimitada para el caudal con periodo de retorno de 100 años, con una profundidad de flujo o una velocidad por profundidad de flujo igual o mayor que 0,05m e inferior a 0,5 m.

¹ PLANAT. (2005). VADEMECUM. Hazard maps and related instruments. The Swiss system and its application abroad. Capitalisation of experience. Bern.

Figura 4.4. Mapa de amenaza por inundación por desborde.





La amenaza en el río Bogotá es contenida en su mayoría por los jarillones, sin embargo, se observan algunos sectores con amenaza alta y media dentro de las curvas de meandros y en la zona proyectada como área multifuncional cercana a la calle 80. El tramo desde Puente La Virgen a Torca no se contó con batimetrías y por tanto no se generó modelo hidráulico, lo que implicó que la amenaza generada fuera la aportada por los análisis geomorfológicos de la zona efectuadas por integrantes del equipo de riesgos de SDP. El río Tunjuelo presenta amenaza alta en la zona de los huecos de canteras, en los embalses de amortiguación de caudales y en una zona baja en la localidad de Bosa producto de un jarillon con un nivel menor en la margen derecha que se encuentra en la curva exterior del meandro. En el sector de Bosa parte baja de la cuenca cercana a la confluencia con el río Bogotá se presentan algunas zonas con amenaza baja principalmente, tal como se observa en detalle en el **ANEXO TECNICO 2B-2- Desbordamiento**.

El río Fucha presenta amenaza en la descarga al río Bogotá y una pequeña mancha en la carrera 10 productos de la reducción de la sección por el puente vehicular de la zona. El río salitre presenta una categoría alta en la zona de amortiguación producto del humedal Juan Amarillo antes de la descarga con el río Bogotá y una zona antes del cruce con la calle 80 en la margen derecha dado que se contrastó el desborde del modelo con los eventos de inundación de la zona. Aunque los insumos de eventos no distinguen claramente cuales son producto de encharcamiento o producto de desborde se prefirió mantener la categoría de amenaza en la zona para la escala de estudios básicos. En cuanto al río Torca se evidencia amenaza alta por inundación en donde se localiza el humedal Torca Guaymaral evidenciando la importancia de la operatividad de los box-culvert que conectan el humedal en el paso por la autopista norte, además se obtuvo otras zonas de amenaza alta cercana a la descarga al río Bogotá semejante a los resultados del análisis geomorfológico.

4.3 Amenaza por inundación por rompimiento de jarillón (*Ver Detalle "ANEXO TECNICO 2B-3 – Rompimiento"*).

Considerando que las medidas estructurales para la mitigación del riesgo implementadas en la ciudad referentes al río Bogotá y Tunjuelo en el marco de lo establecido en el Decreto 190 de 2004, reducen la amenaza por inundación más no lo eliminan, y, teniendo en cuenta las características morfológicas del terreno, se planteó la necesidad de definir la zona de amenaza por inundación debido a la posibilidad de falla y/o rompimiento de los jarillones, denominado por IDIGER como zona de riesgo residual, la cual representa determinado nivel de riesgo que permanece, tras ejecutar las obras de mitigación y/o reducción de los riesgos, y son estas las zonas donde se debe contar con los análisis de riesgo respectivos, para garantizar que no se presentarán cambios negativos en la condición de amenaza y por ende del riesgo. Estos análisis están enmarcados conforme con la Ley 1523 de 2012 en sus artículos 38 y 42; donde se deben considerar los posibles efectos de eventos naturales sobre la infraestructura instalada expuesta por falla de las obras de adecuación hidráulica, ya se origine esta de manera natural o antrópica, y aquellos que se deriven de los daños de la misma en su área de influencia.

Teniendo en cuenta lo descrito anteriormente se vio la necesidad de contar con un mapa de amenaza asociado a una posible falla del jarillón, a continuación, se describe la metodología utilizada para la generación de dicho mapa y su detalle se especifica en el **ANEXO TECNICO 2B-3 – Rompimiento**.

4.3.1 Metodología

La metodología utilizada para el análisis se presenta de manera descriptiva en la siguiente en la figura

Figura 4.5. Proceso Metodológico de identificación de las áreas de amenaza por inundación por rompimiento de jarillones “zona de riesgo residual”.



Con el análisis descrito anteriormente y detallado en el anexo **ANEXO TECNICO 2B-3 – Rompimiento**, se corrobora que el escenario de inundación por rompimiento de jarillones en los cuatro sitios modelados, materializa un escenario de amenaza alta por encharcamiento; adicionalmente se resalta que las láminas de agua en los sitios de ruptura en las localidades de Kennedy y Bosa respectivamente; así como en el sitio 2 cercano al meandro del Say en la localidad de Fontibón, con la modelaciones realizadas, se generan alturas de láminas de agua superiores a 50 cms en el terreno, al ser zonas bajas, lo que implica mayores afectaciones en áreas que actualmente están densamente pobladas.

Teniendo en cuenta la metodología anteriormente expuesta fue posible determinar los rangos de afectación generados por las posibles inundaciones que se generan como consecuencia de los rompimientos de jarillón, tal como se describe a continuación en la Tabla 4.3. Posteriormente, se procedió a establecer la envolvente de afectación de Inundación por Rompimiento de jarillones del río Bogotá y Tunjuelo, para la creciente de 100 años de periodo de retorno en el río Bogotá a su entrada en el Distrito, más las afluencias de sus tributarios con crecientes de 10 años de periodo de retorno, correspondientes al tránsito de crecientes del escenario por inundación por desbordamiento.

Tabla 4.3. Matriz para la zonificación de amenaza por rompimiento de jarillón

Alta	Corresponde a las envolventes de afectación donde se concentraran los volúmenes de agua de las crecientes transitadas por las corrientes durante el rompimiento del jarillón, las cuales se asocian a las geoformas aluviales intervenidas de niveles inferiores respecto del nivel medio del río, que permiten la acumulación de los volúmenes de flujo durante los rompimientos, donde se generan en promedio alturas de láminas de agua superiores a 50 cms y velocidades de flujo relativamente bajas, inferiores a 0.20 m/s, que conllevan a materializar condiciones similares a las del escenario de amenaza Alta por Encharcamiento.
Media	No zonificable
Baja	No zonificable

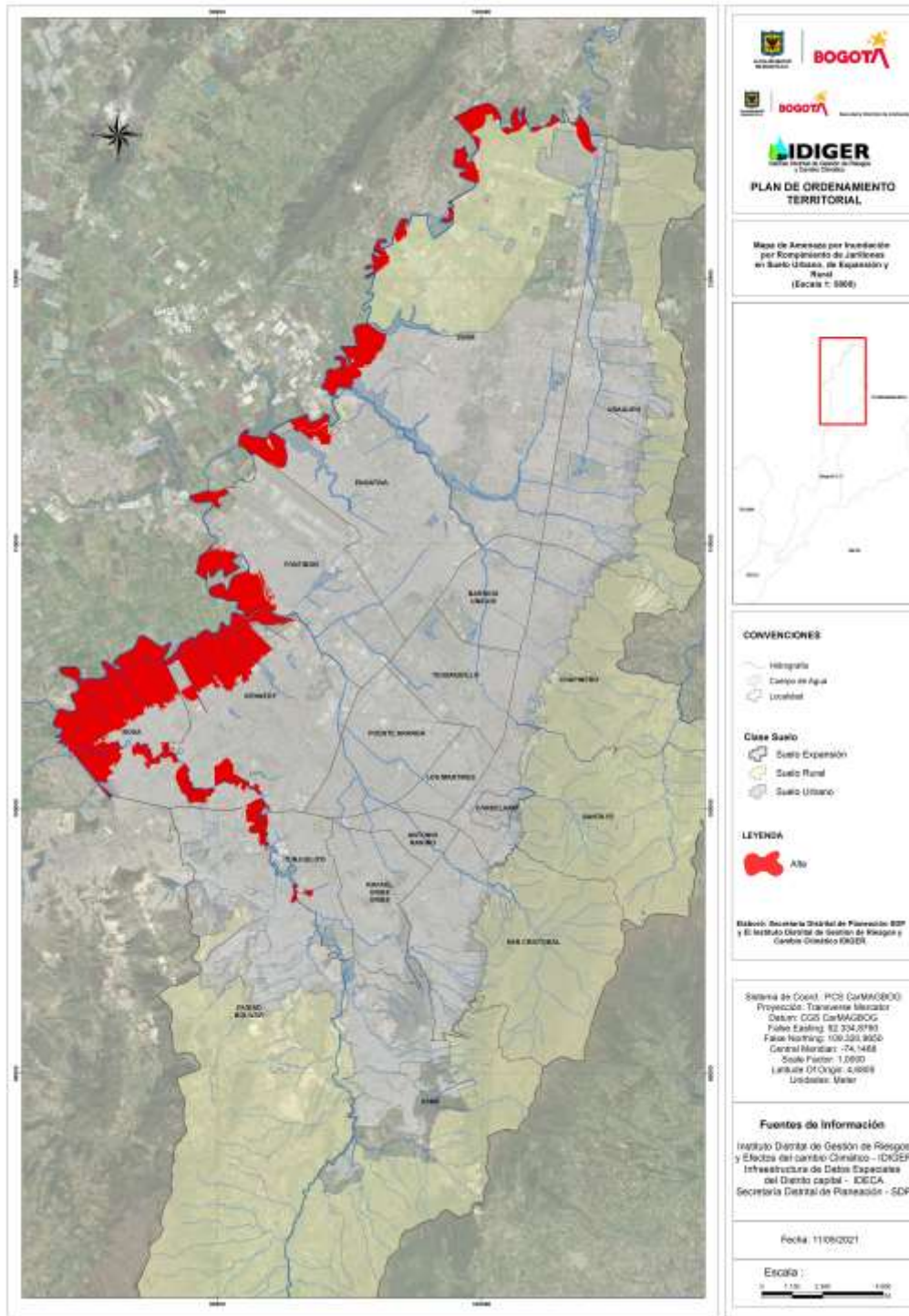
La delimitación de la envolvente de afectación por rompimiento del jarillón se categoriza únicamente como zona de Amenaza Alta de Inundación por Rompimiento de Jarillones de los ríos Bogotá y Tunjuelo, correspondientes a las envolventes de afectación donde se concentraran los volúmenes de agua de las crecientes transitadas por las corrientes durante el rompimiento del jarillón, las cuales se asocian a las geoformas aluviales intervenidas de niveles inferiores respecto del nivel medio del río, que permiten la acumulación de los volúmenes de flujo durante los rompimientos, donde se generarán en promedio alturas de láminas de agua superiores a 50 cms y velocidades de flujo relativamente bajas, inferiores a 0.20 m/s, que conllevan a materializar condiciones similares a las del escenario de Amenaza Alta por Encharcamiento, motivo por el cual no fue posible caracterizar ni zonificar los rangos de amenaza media y baja. (Ver Detalle en el **ANEXO TECNICO 2B-3 – Rompimiento**).

Con relación a los niveles de amenaza media y baja, se resalta que estos se encuentran contenidos en la envolvente de amenaza alta, lo cual se validó con la geomorfología a escala 1:2000 que se contaba y permitía delimitar los niveles y velocidades en las geoformas teniendo en cuenta la morfometría de las mismas y el nivel promedio del cauce y que conllevaba a que los niveles de amenaza baja y media confluyeran en las zonas categorizadas en amenaza alta y donde esta debe primar sobre las otras. (Ver Detalle en el **ANEXO TECNICO 2B-3 – Rompimiento**).

A partir de la información procesada se obtuvo el mapa de Amenaza de Inundación por Rompimiento de Jarillones mostrado en la Figura 4.6, que, aunque es un escenario hipotético, da cuenta de la importancia de conocer el estado actual de las obras de adecuación hidráulica desarrolladas por la CAR, denominado por IDIGER como riesgo residual, que podría establecerse a través de los estudios detallados de riesgo conforme lo establece el Decreto 1807 de 2014.

Asimismo, se presenta el resumen de las unidades geomorfológicas afectadas por los posibles rompimientos que se puedan presentar en cualquier sitio de los jarillones de los ríos y Bogotá, donde se evidencia que las mayores afectaciones (superiores al 3%) se generan principalmente en las unidades geomorfológicas denominadas Api - Planos inundables intervenidos, Ata - Terraza antropizada, Ftar - Terraza aluvial reciente, Fpi - Planos de inundación, Fpia - Planos de inundación ocupados, Aj - Jarillón o dique y Fpian - Planos de inundación anegadizos, permitiendo así validar la representatividad de la zonificación espacial de la amenaza por inundación por rompimiento de jarillones presentado en la Figura 85. (Ver Detalle en el **ANEXO TECNICO 2B-3 – Rompimiento**).

Figura 4.6. Mapa de amenaza por inundación por rompimiento de jarillones en Bogotá

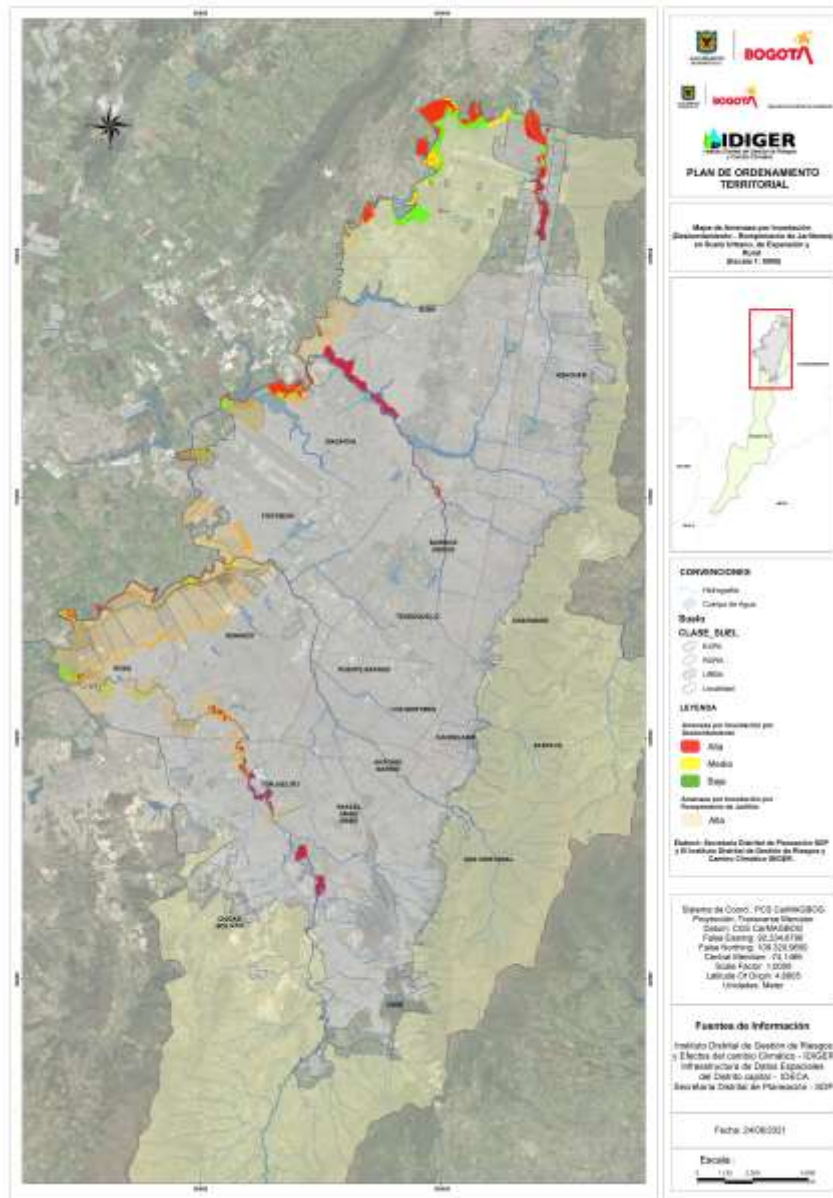


D.C.

5 MAPA DE AMENAZA POR INUNDACIÓN NORMATIVO ADOPTADO

De acuerdo a los análisis realizados y descritos en los capítulos anteriores se adopta como **mapa normativo de amenaza por inundación**, el resultado obtenido de los escenarios de desbordamiento y rompimiento de jarillón, mientras que el mapa de inundación por encharcamiento servirá como herramienta base para la priorización de los programas y proyectos identificados para mejorar el sistema de alcantarillado pluvial de la ciudad.

Figura 5.1 Mapa De Amenaza Por Desbordamiento y Por Rompimiento de Jarillón



6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Escenario inundación por encharcamiento

- La Empresa de acueducto deberá aunar la información planimétrica y altimétrica de la red y efectuar modelaciones para desarrollar los mapas de amenaza de encharcamiento por las diferentes causas: Aguacero con intensidad y duración altos para los cuales no está diseñado el sistema de tuberías, disminución de la sección hidráulica de las tuberías por depósito indebido de residuos sólidos domésticos, escombros, insuficiencia hidráulica de la red, tubería sin la capacidad hidráulica para recibir los caudales que se producen en la cuenca, Inexistencia de redes. Zonas de la ciudad donde no existe alcantarillado de aguas lluvias o el sistema es combinado, Fallas en las estaciones elevadoras.
- Será necesario continuar los estudios que tengan que ver con el conocimiento de las consecuencias que generará el cambio climático sobre el sistema hidrometeorológico que rige sobre las diferentes zonas de Bogotá para definir con claridad las acciones necesarias para la adaptación del sistema de alcantarillado pluvial. Estará estrechamente ligado a las necesidades de recolección y utilización de agua lluvia en la medida que el agua para abastecimiento de agua potable también pueda verse disminuida.
- Deben proponerse sistemas alternativos para reducir las tasas de escorrentía que han venido en aumento de volúmenes y frecuencias para las cuales los sistemas de alcantarillado no fueron diseñados que permitan disminuir la vulnerabilidad a las inundaciones por encharcamiento.
- Se deberán desarrollar acciones para: transformar el alcantarillado combinado, eliminar las conexiones erradas asociadas al alcantarillado pluvial –PSMV, mantener la capacidad hidráulica del sistema, implementar SUDS en el desarrollo de la infraestructura existente y futura, mantener del sistema de alcantarillado pluvial, y las acciones administrativas y financieras que permitan la adaptación. Se deberán definir las acciones para retención, amortización, almacenamiento e infiltración y el Uso y aprovechamiento del agua lluvia (agua para arbolado, fuentes de agua públicas, épocas de sequía).
- Se debe modelar todo el sistema de drenaje de la ciudad es decir los cuerpos de agua (Canales, ríos, quebradas y humedales) en conjunto con el sistema de alcantarillado pluvial teniendo en cuenta las nuevas condiciones que generará el cambio climático. Se deberán definir los porcentajes de retención de agua que permitan el correcto funcionamiento hidráulico del sistema para la adaptación en interacción con la zonificación de la Amenaza por Inundación por desbordamiento que permita las opciones más económicas.

6.2 Escenario de inundación por desbordamiento

- Las obras de mitigación para inundaciones como los jarillones efectivamente contribuyen a contener las inundaciones ante una crecida de caudal.

- Los ríos canalizados que se encuentran en la ciudad no presentan desbordamientos significativos sin embargo hay puntos de especial atención sobre todo en estructuras de cruce ya que reflejan algunos desbordamientos por la reducción de sección que ocasiona la ubicación del paso vehicular.
- Los resultados presentados no tienen el alcance de evaluar el sistema de drenaje y por ende puede haber afectaciones de inundaciones asociada a operatividad de la red que no estén contemplados. Por lo anterior, es de suma importancia que la EAAB-ESP tenga una participación activa en estos estudios, pues es la entidad encargada del funcionamiento de la red de alcantarillado de la ciudad.
- Conforme con los análisis realizados de amenaza por inundación en el presente estudio, es importante mencionar que para el tramo comprendido entre Puente la Virgen y La confluencia del Sistema Torca Guaymaral, se realizó a la zonificación con los insumos disponibles en el momento de elaboración del mismo.

Para ese momento, no se contaba con los planos de obra record del tramo mencionado, implementando el análisis de este con modelaciones hidráulicas, cuya verificación se realizó con la Geomorfología 1:2000 generada en el 2020 por SDP.

En este sentido, vale la pena aclarar, que dicha zonificación cumple con lo dispuesto en la reglamentación vigente con respecto a los insumos básicos a ser tenidos en cuenta para realizar los mapas de amenaza para la Escala 1:5.000.

Así las cosas, se recomienda que una vez se cuente con los planos de obra record para el tramo comprendido entre Puente la Virgen y confluencia del Sistema Torca Guaymaral, se actualice el escenario de inundación.

- Con base en los resultados obtenidos, se encontró que los caudales obtenidos mediante el estudio de la SDP 2020, en donde se obtiene que a la salida del río Tunjuelo, sumando los caudales aporte hacia aguas arriba del sistema, se obtiene un total de 343,5 m³/s, con los análisis realizados en el año 2011 para el diseño de los jarillones cuyos resultados obtuvieron caudales de diseño de 210 m³/s ; los resultados elegidos para el ejercicio de modelación para el presente estudio son superiores en un 63,57 %.

Conforme con lo anterior, y los análisis realizados para el escenario de inundación por desbordamiento, es importante destacar que las adecuaciones hidráulicas permiten el tránsito adecuado de las crecientes tanto para el escenario de diseño de los jarillones (210 m³/s.), como para el escenario evaluado en el análisis de amenaza (343,5 m³/s), el cual, es mayor que el propuesto en los diferentes análisis y diseños establecidos para los estudios anteriores al 2020 y es acorde con el estado del arte de las evaluaciones de amenaza que se requieren para el ordenamiento territorial y que no necesariamente son coincidentes con los criterios para el diseño de las obras e intervenciones implementadas, las cuales



tienen alcances y premisas que no tienen que ser tomadas de la misma forma dado su enfoque.

6.3 Escenario de inundación por Rompimiento de jarillón

- Las obras de mitigación para inundaciones como los jarillones efectivamente contribuyen a contener las inundaciones ante una crecida de caudal, sin embargo, sin el adecuado mantenimiento que pueda provocar filtraciones y hasta fallas súbitas de la estructura puede representar un riesgo potencial sobre las poblaciones asentadas en las inmediaciones de la obra.
- Las obras efectuadas por la CAR para la adecuación hidráulica del río Bogotá, si bien ha mejorado de manera indiscutible las estructuras en el borde del Distrito con el río Bogotá, tiene deficiencias que no permiten asegurar que no exista amenaza o riesgo por inundación ya sea por rompimiento o por desbordamiento en algunas zonas.
- Para el caso del jarillón del río Bogotá, se tienen estudios geotécnicos realizados para la CAR por la Universidad Nacional de Colombia (2009) y los de la revisión llevada a cabo por HMV-CAR (2011) en los cuales se aprecian diferencias considerables en cuanto a los factores de seguridad determinados para las estructuras de diseño. No obstante, no se cuenta con la definición de los factores de seguridad de las obras construidas, por lo cual no fue posible establecer los sectores de jarillones en amenaza, pero sí una intensidad de eventos de inundación por hipotéticos rompimientos de jarillones, categorizada únicamente como amenaza alta que permitió evidenciar las posibles manchas de inundación en sectores densamente poblados.
- Es importante establecer que el escenario de falla de rompimiento de jarillón contempla no solamente el análisis hidráulico, hidrológico y geomorfológico ya que este es dinámico por factores detonantes externos a la misma estructura, en ese sentido el factor antrópico determina un elemento importante a ser tenido en cuenta para los análisis desarrollados que superan criterios de diseño geotécnico y los cuales fueron considerados dentro de los análisis del rompimiento que se adelantaron en el Distrito Capital.

Conforme con los análisis de estabilidad realizados por el IDIGER en el estudio de 2016-2018, con base en la información disponible, se consideró el escenario donde juega un papel importante la dinámica de la ciudad en el borde occidental del río, el factor antrópico, y el proceso constructivo de la misma, como determinante en la identificación de la potencial manifestación de la amenaza. También es relevante mencionar que la estructura no solo puede fallar por un incremento en los niveles y el proceso de aumento y disminución de las fuerzas ejercidas por el flujo, sino que pueden existir deterioros propios de los materiales utilizados para cada tramo ya sea por el deterioro del mismo o por factores externos que lo afecten.

Con relación a lo mencionado anteriormente, los análisis realizados de amenaza por inundación por rompimiento de jarillón para la escala indicada, es importante resaltar que

a la fecha no se cuenta con análisis detallados de la estabilidad de los jarillones del río Bogotá, por lo tanto, la zonificación que se presenta permite identificar la necesidad de realizar dichos análisis y así, poder generar los estudios detallados donde se identifique la zonificación de la amenaza con insumos a escalas más detalladas, obteniendo así, resultados más aproximados al verdadero comportamiento de las estructuras existentes ante los factores detonantes expuestos anteriormente. Esto, con el fin de poder identificar la manera adecuada de mitigar y/o reducir los impactos que este fenómeno implica para las comunidades y los elementos expuestos circundantes a las estructuras.

- Considerando que las medidas estructurales implementadas reducen el riesgo más no lo eliminan “riesgo residual” y teniendo en cuenta las características morfológicas del terreno se deberá contar con los análisis de riesgo respectivos, para garantizar que no se presentarán cambios negativos en la condición de amenaza. Estos análisis están enmarcados de acuerdo con la Ley 1523 de 2012 en sus artículos 38 y 42; donde se debe considerar los posibles efectos de eventos naturales sobre la infraestructura expuesta por falla de las obras de adecuación hidráulica, ya se trate de origen natural o antrópico, y aquellos que se deriven de los daños de la misma en su área de influencia. Con base en estos análisis se deben diseñar e implementar las medidas de reducción del riesgo y planes de emergencia y contingencias.
- En el desarrollo de las actividades que se planeen realizar en el suelo aferente del río Bogotá, se recomienda a los responsables de las mismas realizar los análisis específicos de riesgo, de acuerdo con lo establecido en los Artículos 38 y 42 de la Ley 1523 de 2012 o la norma que los reglamente, donde se consideren los posibles efectos naturales y socioculturales, sobre la infraestructura expuesta y aquellos que se deriven de los daños de la misma en su área de influencia y de su operación. Con base en este análisis el responsable del proyecto debe diseñar e implementar las medidas de reducción del riesgo, planes de emergencia y contingencias que serán de su obligatorio cumplimiento. De igual forma, deberán velar por la implementación de la gestión del riesgo en el ámbito de sus competencias sectoriales y territoriales, conforme al Parágrafo del Artículo 44 de la Ley 1523 de 2012.

7 ANEXOS

Debido a la extensión de los anexos, se presentan como adjunto en una carpeta comprimida, haciendo parte integral de este anexo técnico de soporte. Estos, se listan a continuación:

ANEXO TECNICO 2B-1 – Encharcamiento

ANEXO TECNICO 2B-2- Desbordamiento

ANEXO TECNICO 2B-3 – Rompimiento



ANEXO 2B-4 - Insumos SDP

ANEXO 2B-5 - Visita de campo

ANEXO 2B-6 - Insumos