



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

INSTITUTO DISTRITAL DE GESTIÓN DE RIESGOS Y CAMBIO CLIMÁTICO IDIGER

SUBDIRECCIÓN DE ANÁLISIS DE RIESGOS Y EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO GRUPO DE TRABAJO TEMÁTICO INUNDACIONES BOGOTÁ, COLOMBIA

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

DOCUMENTO TÉCNICO DE SOPORTE

ESTUDIOS BÁSICOS

“AMENAZA POR INUNDACIÓN EN PERSPECTIVA DE CAMBIO CLIMÁTICO”

VOLUMEN 2.

ORIGINAL

Bogotá, Junio 25 de 2018



GP-CER453497



CO-SC-CER453496



CO-SC-CER453496



CO-SA-CER366134

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

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



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

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

Documento Técnico De Soporte

MAPA DE AMENAZA POR INUNDACIÓN POR DESBORDAMIENTO EN PERSPECTIVA DE CAMBIO CLIMÁTICO ZONA URBANA Y DE EXPANSIÓN ESCALA 1:5000

Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático
IDIGER

Diagonal 47 No. 77B-09 Interior 11

www.idiger.gov.co

Bogotá - Colombia

Director: Ing. Richard Vargas.

Responsable Área: Ing. Diana Arévalo S. Subdirección de Análisis de Riesgos y Efectos de Cambio Climático

Coordinación: María Alexandra Bejarano – César F. Peña P.

Responsable Grupo: Edwin Castillo Landínez

Elaborado por:
Grupo de Trabajo Temático
Inundaciones

ORIGINAL

Bogotá, Junio de 2018



GP-CER453497



CO-SC-CER453496



CO-SC-CER453496



CO-SA-CER366134

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

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



**ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.**

AMBIENTE
Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático

RESUMEN

En el marco del proyecto de actualización del componente de gestión del riesgo para la revisión ordinaria del plan de ordenamiento territorial – POT, se presenta el documento técnico de soporte - DTS donde se muestra la metodología usada para la construcción del mapa de Amenaza por Inundación por desbordamiento en perspectiva de cambio climático para la zona urbana, de expansión urbana y rural del Distrito Capital, junto con las diferentes modelaciones y resultados obtenidos.



GP-CER453497



CO-SC-CER453496



CO-SC-CER453496



CO-SA-CER366134

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

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

TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	15
2	OBJETIVOS.....	17
2.1	OBJETIVO GENERAL.....	17
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
3	ALCANCE Y LIMITACIONES.....	18
4	CONTEXTO DE LA AMENAZA por INUNDACIÓN	20
4.1	GENERALIDADES DEL CAMBIO CLIMÁTICO	20
4.2	CENTRANDO EL PROBLEMA.....	20
4.3	QUE ES UNA INUNDACIÓN.....	21
4.3.1	Clasificación de la Inundación	23
4.4	RÉGIMEN DE LLUVIAS	26
4.5	ZONA URBANA Y DE EXPANSIÓN URBANA	27
4.6	ZONA RURAL	29
4.7	VERIFICACIÓN DE LA DELIMITACIÓN Y ZONIFICACIÓN DE AMENAZA ACTUAL	29
5	ÁREA DE ESTUDIO	34
5.1	RÍO BOGOTÁ.....	37
5.2	RÍO TORCA	39
5.3	RÍO SALITRE	41
5.4	RÍO FUCHA	43
5.5	RIO TUNJUELO	45
5.6	SUBCUENCA RIO TEUSACÁ.....	48
5.7	CUENCA RÍO SUMAPAZ.....	49
5.8	CUENCA DEL RIO BLANCO	51
5.9	CANALES	52
5.10	HUMEDALES	52
6	ANTECEDENTES	54
6.1	EVENTOS DE EMERGENCIA	57
6.1.1	Comparación eventos registrados y precipitaciones medias anuales	71
6.1.2	Distribución anual de eventos.....	76



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.

AMBIENTE

Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático

6.1.3	Daños y pérdidas desde 2002	77
6.1.4	Representación espacio - temporal de reportes por inundación	81
6.2	ESTUDIOS DE AMENAZA DE INUNDACIÓN	85
6.2.1	Mapa de Amenaza de Inundación Decreto 190 De 2004	85
6.2.2	Actualización Mapa Amenaza por Inundación Resolución 858 De 2013.....	88
6.3	INSTRUMENTOS GESTIÓN DE RIESGOS	93
7	METODOLOGÍA	100
7.1	ESTADO DEL ARTE	102
7.2	MÉTODOS DE ZONIFICACIÓN	113
7.3	REVISIÓN Y SELECCIÓN DE METODOLOGÍAS PARA LA ZONIFICACIÓN DE AMENAZA	117
7.3.1	Parciales y cualitativas	117
7.3.2	Completas y cualitativas	118
7.3.3	Parciales y cuantitativas	118
7.3.4	Completas y cuantitativas	119
7.4	METODOLOGÍAS EMPLEADAS EN LA ZONIFICACIÓN VIGENTE	125
7.5	ESCOGENCIA DE LAS METODOLOGÍAS	126
7.6	PROCESO METODOLÓGICO	129
8	RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN DISPONIBLE	137
8.1	ORIGEN Y USO DE LA INFORMACIÓN	140
8.2	LIMITACIONES EN LA CONSECUCIÓN DE LA INFORMACIÓN	143
8.3	ESTUDIOS BÁSICOS DE REFERENCIA.....	143
8.4	PROCESO METODOLÓGICO	150
8.4.1	Procesamiento de la información.....	150
9	GEOMORFOLOGÍA.....	157
10	ANÁLISIS HIDROLÓGICO.....	157
10.1	TIPOS DE MODELO	158
10.1.1	Tipos de modelos matemáticos de cuencas	158
10.1.2	Principales modelos computaciones o programas, utilizados para modelaciones hidrológicas	159
10.2	REVISIÓN ESTADO ACTUAL INFORMACIÓN.....	161
10.3	METODOLOGÍA DE ACTUALIZACIÓN MODELOS HIDROLÓGICOS.....	162

Página 5 de 306



GP-CER453497



CO-SC-CER453496



CO-SC-CER453496



CO-SA-CER366134

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

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



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

10.3.1	Revisión de información secundaria	162
10.3.2	Selección de modelo Hidrológico	163
10.3.3	Determinación de parámetros Hidrológicos	166
10.3.4	Tormentas de diseño Empresa de Acueducto de Bogotá	171
10.3.5	Generación de Hidrogramas	179
10.4	CALIBRACIÓN MODELOS HIDROLÓGICOS	183
10.4.1	Rio Tunjuelo	183
10.4.2	Rio Fucha	185
10.4.3	Río Salitre	186
10.4.4	Río Bogotá.....	187
10.5	Resultados crecientes máximas	189
10.6	ANÁLISIS DE CAUDALES MÁXIMOS REGISTRADOS.....	190
10.7	CONSIDERACIÓN EN LOS ANÁLISIS HIDROLÓGICOS DE LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA.....	199
11	ANÁLISIS HIDRÁULICO	200
11.1	MODELOS UNIDIMENSIONALES	201
11.2	MODELOS BIDIMENSIONALES	203
11.2.1	Modelos hidrodinámicos del mercado.....	205
11.3	CÓDIGO COMPUTACIONAL	213
11.3.1	Método de los volúmenes finitos.....	213
11.3.2	Ecuaciones de gobierno modulo hidrodinámico.....	214
11.4	CONDICIONES DE MODELACIÓN	215
11.4.1	Definición Dominio de estudio.....	215
11.4.2	Condiciones de frontera:.....	216
11.4.3	Coeficientes de rugosidad	220
11.4.4	Escenarios de modelación del río Bogotá.....	220
12	ANÁLISIS DE LA AMENAZA POR INUNDACIÓN.....	230
12.1	PROCESO METODOLÓGICO	230
12.1.1	Información para la Evaluación de amenaza	231
12.1.2	Análisis por criterios de niveles de amenaza	234
12.1.3	Reconocimiento De Campo	236
12.2	Información y estudios complementarios.....	251

Página 6 de 306



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

12.3	RESULTADOS DE AMENAZA	255
13	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD JARILLONES RÍO BOGOTÁ	269
13.1	ANTECEDENTES	269
13.2	CONSIDERACIONES	269
13.3	RESULTADOS	270
13.3.1	Tramo 1. (Alicachín - Tunjuelo) (K0+000 - K21+174).....	270
13.3.2	Tramo 2. (Tunjuelo - Fucha) (K21+174 - K35+239)	271
13.3.3	Tramo 3. (Fucha - La Conejera) (K35+239 - K58+350).....	273
13.3.4	Tramo 4. (La Conejera – Puente La Virgen) (K58+350 - K69+972)	274
13.3.5	Tabla resumen de resultados del análisis de estabilidad de los diques perimetrales del río Bogotá	276
14	ANÁLISIS POR DESEMBALSE RÁPIDO.....	290
14.1	GEOMETRÍA Y PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DEL SUBSUELO Y DE LOS JARILLONES.....	292
14.2	RESULTADOS DEL ANÁLISIS POR DESEMBALSE RÁPIDO.	294
14.2.1	Influencia de conductividad hidráulica.....	294
14.2.2	Influencia de la cohesión	296
14.2.3	Influencia del ángulo de fricción.....	298
14.2.4	Comentarios finales	300
15	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	301
16	ANEXOS.....	306

LISTA DE FIGURAS

Figura 4.1. Mapa de Amenaza por Inundación por desbordamiento (Decreto 190 de 2004)	30
Figura 4.2. Mapa Vigente Amenaza por Inundación por desbordamiento (Resolución 858 de 2013)	34
Figura 5.1. Área de estudio zona Urbana y Expansión	36
Figura 5.2. Cuenca río Bogotá	38
Figura 5.3. Localización río Bogotá en el Distrito Capital	39
Figura 5.4. Cuenca río Torca	40
Figura 5.5. Cuenca río Salitre	42
Figura 5.6. Cuenca río Fucha.....	44
Figura 5.7. Cuenca río Tunjuelo.....	48
Figura 5.8. Subcuenca río Teusacá	49
Figura 5.9. Cuenca río Sumapaz	50
Figura 5.10. Cuenca río Blanco.....	51
Figura 6.1. Número de eventos de inundación por base de datos	60
Figura 6.2. Distribución administrativa de la ciudad en localidades	65
Figura 6.3. Distribución administrativa de la ciudad en Unidades Planeación Zonal	66
Figura 6.4. Número de reportes de inundación desde 2002 a 2015.....	67
Figura 6.5. Número de eventos discriminados por detonantes principales	70
Figura 6.6. Porcentaje de eventos acorde con el fenómeno de origen, Base Desinventar	70
Figura 6.7. Comparación de Número de eventos precipitaciones medias anuales, base SIRE	73
Figura 6.8. Comparación de Número de eventos y costos, base Desinventar	74
Figura 6.9. Comparación de Número de eventos precipitaciones medias mensuales – Base de datos SIRE.	76
Figura 6.10. Comparación de Número de eventos precipitaciones medias mensuales – Base de datos SIRE y Desinventar.	77
Figura 6.11. Total de afectados, viviendas y cultivos – Base Desinventar	78
Figura 6.12. Total de viviendas y cultivos afectados por localidad – Base Desinventar	79
Figura 6.13. Número de viviendas y cultivos afectados por localidad, comparado con los costos – Base Desinventar	79
Figura 6.14. Comparación de número de reportes y número de personas.	80
Figura 6.15. Densidad de eventos totales por inundación entre 2001 a 2015, base SIRE por localidad	84
Figura 6.16. Áreas en amenaza por Decreto 190 de 2004.....	87
Figura 6.17. Áreas en amenaza por Decreto 190 de 2004.....	89
Figura 6.18. Mapa Vigente Amenaza por Inundación por desbordamiento (Resolución 858 de 2013)	92
Figura 6.19. Conceptos Técnicos generados por el IDIGER.....	96
Figura 6.20. Zonas inundadas identificadas por el IGAC para la ciudad de Bogotá en las localidades de Bosa, Engativá, Kennedy y Suba en el año 2010 - 2011	100
Figura 7.1. Tipos de daños potenciales por características de la inundación	113
Figura 7.2. Cuadro sinóptico de los principales grupos de métodos para el análisis de la peligrosidad de inundaciones y sus relaciones mutuas	115
Figura 7.3 Matriz definida por la intensidad (m ² /s) versus periodo de retorno.	124
Figura 7.4 Niveles de amenaza de acuerdo a la investigación de.....	127
Figura 7.5. Metodología de actualización Mapa de inundación (Actualización POT).....	136
Figura 8.1. Estructura base de datos- Información recopilada.	139
Figura 8.2. Documentación consultada por fuente.	141

Figura 8.3. Documentación consultada de los principales cuerpos de agua de la ciudad de Bogotá.	142
Figura 8.4. Procesamiento de información.	151
Figura 8.5. Se muestra la información procedente de un modelo en SewerGEMS.	153
Figura 8.6. Se muestra la información procedente de un modelo en HEC-RAS.	153
Figura 8.7. Asignación de elevaciones para cada elemento.	154
Figura 8.8. Puntos base obtenidos.	154
Figura 8.9. Superficie TIN generada a partir de puntos base.	155
Figura 8.10. Superficie TIN ajustada.	156
Figura 8.11. Superficie en formato RASTER.	157
Figura 10.1. Modelos hidrológicos	159
Figura 10.2 Esquema Metodológico modelo Hidrológico	162
Figura 10.3 Numero de curva	166
Figura 10.4 Esquema entradas Rio Tunjuelo	168
Figura 10.5. Esquema entradas Rio Fucha	169
Figura 10.6. Esquema entradas Modelo Rio Fucha	170
Figura 10.7 Esquema entradas Rio Bogotá	171
Figura 10.8 Red Pluviográfica de Bogotá	172
Figura 10.9 Curva Intensidad – Duración – Frecuencia Estación Juan Rey.	173
Figura 10.10 Curva Intensidad – Duración – Frecuencia Estación Santa Lucia	173
Figura 10.11 Curva Intensidad – Duración – Frecuencia Estación Quiba.	174
Figura 10.12 Curva Intensidad – Duración – Frecuencia Estación El Delirio.	174
Figura 10.13 Curva Intensidad – Duración – Frecuencia Estación El Granizo.	175
Figura 10.14 Curva Intensidad – Duración – Frecuencia Estación Santa Lucia	175
Figura 10.15 Curva Intensidad – Duración – Frecuencia Estación Cerros de suba.	176
Figura 10.16 Curva Intensidad – Duración – Frecuencia Estación San Luis.	176
Figura 10.17 Curva Intensidad – Duración – Frecuencia Estación Salitre Casa de Bombas.	177
Figura 10.18 Curva Intensidad – Duración – Frecuencia Estación El Verjon.	177
Figura 10.19 Curva Intensidad – Duración – Frecuencia Estación Serrezuela.	178
Figura 10.20 Curva Intensidad – Duración – Frecuencia Estación La Caro.	178
Figura 10.21 Curva Intensidad – Duración – Frecuencia Estación Tibitoc.	179
Figura 10.22 Curva Intensidad – Duración – Frecuencia Estación Planta Wiesner.	179
Figura 10.23 Hidrogramas de Crecientes Rio Tunjuelo	180
Figura 10.24. Hidrogramas de Crecientes Rio Fucha	181
Figura 10.25 Hidrogramas de Crecientes Rio Salitre.	182
Figura 10.26 Hidrogramas de Crecientes Rio Bogotá	183
Figura 10.27 Hidrogramas de Calibración, Estudios Rio Tunjuelo	184
Figura 10.28. Hidrogramas de calibración Rio Fucha	186
Figura 10.29 Hidrogramas de calibración Rio Salitre.	187
Figura 10.30 Estaciones Rio Bogotá	188
Figura 10.31. Caudales máximos mensuales registrados en las estaciones Puente Vargas, La Balsa, Chicú, El Cortijo, La Isla ubicadas en el río Bogotá y Puente Bosa ubicada en el río Tunjuelo, Periodo 1940-2015	191
Figura 10.32. Caudales máximos mensuales registrados en las estaciones Puente Vargas, La Balsa, Chicú, El Cortijo, La Isla ubicadas en el río Bogotá y Puente Bosa ubicada en el río Tunjuelo, Periodo 2006-2015	192
Figura 10.33: Ubicación estaciones hidrológicas analizadas	193

Figura 10.34. Caudales máximos mensuales registrados en las estaciones Puente Vargas, La Balsa, ubicadas en el río Bogotá, Periodo 2006-2015.....	194
Figura 10.35. Caudales máximos mensuales registrados en las estaciones Chicú, El Cortijo, ubicadas en el río Bogotá, Periodo 2006-2015.....	195
Figura 10.36. Caudales máximos mensuales registrados en las estaciones, El Cortijo, La Isla ubicadas en el río Bogotá, Periodo 2006-2015.....	196
Figura 10.37. Caudales máximos mensuales registrados y balances en las estaciones Puente Vargas, La Balsa, Chicú, El Cortijo, La Isla ubicadas en el río Bogotá y Puente Bosa ubicada en el río Tunjuelo, Periodo 2006-2015.....	197
Figura 10.38. Caudales para un periodo de retorno de 100 años según distintas fuentes.	198
Figura 11.1. Dominio Modelación río Bogotá.....	216
Figura 11.2. Localización Sectores de modelación río Bogotá.....	217
Figura 11.3. Desembocadura río Torca – Puente La Virgen	218
Figura 11.4. Puente La Virgen – Desembocadura río Salitre–Juan Amarillo	218
Figura 11.5. Desembocadura río Salitre-Juan Amarillo – Desembocadura río Fucha	219
Figura 11.6. Desembocadura río Fucha – Desembocadura río Tunjuelo.....	219
Figura 11.7. Desembocadura río Tunjuelo – Alicachín.....	220
Figura 11.8. Escenario elegido para análisis de Amenaza por Inundación por desbordamiento. Escenario 5 del río Bogotá.	224
Figura 11.9. Resultados de modelación río Bogotá – Velocidades de Flujo.	226
Figura 11.10. Resultados de modelación río Bogotá – Láminas de Agua.....	227
Figura 11.11.. Resultados de modelación Tramo Humedal de la Conejera – Desembocadura río Salitre-Juan Amarillo	228
Figura 11.12.. Resultados de modelación Tramo Desembocadura río Salitre-Juan Amarillo – Humedal Jaboque	228
Figura 11.13. Resultados de modelación Tramo Humedal Jaboque - Aeropuerto.....	229
Figura 11.14. Resultados de modelación Tramo Aeropuerto – Desembocadura del Fucha.....	229
Figura 11.15. Resultados de modelación Tramo 5. Desembocadura del Fucha - Desembocadura del Tunjuelo.....	230
Figura 12.1. Esquema del procedimiento para la zonificación de los niveles de amenazas con su respectiva interpretación.	230
Figura 12.2. Tramos Topografía y Batimetría	232
Figura 12.3. Sector Puente La Virgen – Desembocadura río Torca donde se modelo tanto para el escenario actual como prospectivo	233
Figura 12.4. Posibles consecuencias basadas la información metodológica consultada [uller, M. and B., n.d.; Engel, 2004; Gómez Valentín and Russo, 2009; Kreibich et al., 2009].	234
Figura 12.5. Localización de los puntos visitados el día 28 de Marzo y 25 de Mayo del 2017.	238
Figura 12.6. Localización de los sitios verificados en febrero y marzo de 2018	244
Figura 12.7. Localización de la primera sección revisada	245
Figura 12.8. Localización de la segunda sección revisada.....	246
Figura 12.9. Localización de la tercera sección revisada	247
Figura 12.10. Localización de la cuarta sección revisada	248
Figura 12.11. Localización de la quinta sección revisada.....	249
Figura 12.12. Localización de la sexta sección revisada.....	250
Figura 12.13. Localización de la séptima sección revisada.....	251
Figura 12.14. Zonificación de Amenaza por Inundación por desbordamiento en perspectiva de cambio climático para el escenario actual.	255
Figura 12.15. Áreas en amenaza Escenario Actual.....	256

Figura 12.16. Áreas en amenaza Escenario Prospectivo	259
Figura 12.17. Zonificación de Amenaza por Inundación por Desbordamiento en perspectiva de cambio climático, para el escenario prospectivo.....	263
Figura 12.18. Zonificación de Amenaza Tramo Humedal La Conejera – Juan Amarillo	264
Figura 12.19. Zonificación de Amenaza Tramo Juan Amarillo – Humedal Jaboque.....	265
Figura 12.20. Zonificación de Amenaza Tramo Humedal Jaboque - Aeropuerto.....	266
Figura 12.21. Zonificación de Amenaza Tramo Aeropuerto Fucha	267
Figura 12.22. Zonificación de Amenaza Tramo Fucha Tunjuelo.	268
Figura 13.1. SECTOR 1 – TRAMO 4 (K2+760 - K3+773)	271
Figura 13.2. SECTOR 2 – TRAMO 18A (K21+174 - K23+058).....	272
Figura 13.3. SECTOR 3 – TRAMO 916 (K36+018 - K36+937)	274
Figura 13.4. SECTOR 4 – TRAMO 884 (K66+616 - K66+965)	275
Figura 14.1. Flujo de trabajo para la determinación de la estabilidad por desembalse rápido.	290
Figura 14.2. Sectores geotécnicamente homogéneos a lo largo del río Bogotá.	291
Figura 14.3 Secciones geotécnicas de los sectores críticos.	292
Figura 14.4 Influencia de la conductividad hidráulica en el factor de seguridad por desembalse rápido para diferentes tiempos en K20 +772 y K30 +362.	294
Figura 14.5 Influencia de la conductividad hidráulica en el factor de seguridad por desembalse rápido para diferentes tiempos en K21 +967, K36 +367 y K34 +551.	295
Figura 14.6 Influencia de la cohesión en el factor de seguridad por desembalse rápido para las secciones ubicadas en K20 +772 y K30 +362.	297
Figura 14.7 Influencia de la cohesión en el factor de seguridad por desembalse rápido para las secciones ubicadas en K21 +967, K34 +551 y K36 +367.	297
Figura 14.8 Influencia del ángulo de fricción en el factor de seguridad por desembalse rápido para las secciones ubicadas en K20 +772 y K30 +362	299
Figura 14.9 Influencia del ángulo de fricción en el factor de seguridad por desembalse rápido para las secciones ubicadas en K21 +967, K34 +551 y K36 +367.....	300

LISTA DE TABLAS

Tabla 4.1. Tipos de fallas que desencadenen inundación	25
Tabla 4.2. Estudios base para el mapa de zonificación de Amenaza por Inundación por desbordamiento Decreto 190 de 2004	31
Tabla 4.3. Definiciones de amenaza alta, media y baja adoptadas.....	32
Tabla 5.1. Humedales y otros cuerpos de agua del Distrito Capital	53
Tabla 6.1. Crecimiento de la población de Bogotá D.C.	55
Tabla 6.2. Tipos de emergencias en Bogotá desde 2002 a 2015	63
Tabla 6.3. Estudios base para el mapa de zonificación de Amenaza por Inundación por desbordamiento Decreto 190 de 2004	85
Tabla 6.4. Definiciones de amenaza alta, media y baja adoptadas.....	86
Tabla 6.5. Áreas amenaza alta, media y baja por localidad	88
Tabla 6.6. Áreas amenaza alta, media y baja por localidad	90
Tabla 6.7. Cambios de las Áreas amenaza alta, media y baja por localidad	91
Tabla 6.8. Conceptos de inundación emitidos por el IDIGER.....	93
Tabla 6.9. Diagnósticos de inundación sobre el río Bogotá emitidos por el IDIGER.....	97
Tabla 7.1. Ejemplos de gestión tradicional de las inundaciones	101
Tabla 7.2. Estudios requeridos para la evaluación de inundaciones.....	103



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.

AMBIENTE
Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático

Tabla 7.3. Bibliografía de apoyo para la construcción de los niveles de amenaza, teniendo en cuenta variables hidráulicas	120
Tabla 7.4. Bibliografía de apoyo para la construcción de los niveles de amenaza, teniendo en cuenta variables hidráulicas y los periodos de retorno.	122
Tabla 7.5. Definiciones de amenaza alta, media y baja adoptadas.....	125
Tabla 7.6 Niveles de severidad en inundación	127
Tabla 7.7 Niveles de amenaza asociadas las variables hidráulicas	128
Tabla 7.8 Matriz de los niveles de amenazas con las variables hidráulicas (profundidad y velocidad) y los periodos de retorno.	129
Tabla 8.1. Fuentes de información consultada.	140
Tabla 8.2. Documentos consultados por cuerpos de agua.....	144
Tabla 8.3. Principales estudios base analizados.	145
Tabla 8.4. Formatos de información recibida.	152
Tabla 10.1. Principales modelos hidrológicos	160
Tabla 10.2. Revisión de información secundaria según Cuerpo Hídrico.	163
Tabla 10.3 Tabla parámetros Modelo Río Tunjuelo	167
Tabla 10.4 Esquema entradas Modelo Río Fucha.....	168
Tabla 10.5. Tabla parámetros Modelo Río Salitre.....	169
Tabla 10.6 Caudales Máximos Río Salitre	186
Tabla 10.7 Caudales Máximos estaciones Río Bogotá	188
Tabla 10.8. Caudales Permanentes cuerpos Hídricos	189
Tabla 10.9. Caudales máximos registrados simultáneamente	197
Tabla 10.10: Caudales máximos registrados.....	198
Tabla 10.11: Comparacion de caudales máximos registrados y caudales estudio H MV	199
Tabla 11.1. Resumen de modelos para la simulación numérica de flujos en ríos.....	210
Tabla 11.2. Coeficientes de Rugosidad	220
Tabla 11.3. Caudales pico para TR 10, 50 y 100.....	221
Tabla 11.4. Escenario elegido para análisis de Amenaza por Inundación por desbordamiento. Escenario 5 del río Bogotá.	225
Tabla 12.1. Definiciones de amenaza alta, media y baja adoptadas.....	235
Tabla 12.2. Puntos visitados por tramo.....	236
Tabla 12.3. Áreas amenaza alta, media y baja por localidad	256
Tabla 12.4. Cambios de las Áreas amenaza alta, media y baja por localidad	257
Tabla 12.5. Áreas amenaza alta, media y baja por localidad	259
Tabla 12.6. Cambios de las Áreas amenaza alta, media y baja por localidad	260
Tabla 12.7. Cambios de las Áreas amenaza alta, media y baja por localidad	262
Tabla 13.1. Análisis probabilístico para el material JARILLÓN	270
Tabla 13.2. Secciones analizadas en el río Bogotá	270
Tabla 13.3. Tabla resumen análisis de estabilidad y probabilístico	276
Tabla 14.1 Abscisas de los sectores críticos escogidos para la simulación.....	291
Tabla 15.1. Definiciones de amenaza alta, media y baja adoptadas.....	301



GP-CER453497



CO-SC-CER453496



CO-SC-CER453496



CO-SA-CER366134

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

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

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Lista de Siglas y Acrónimos

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 – DPAE (ahora IDIGER)
EAB-ESP: Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá
EEB: Empresa de Electricidad de la ciudad de Bogotá
IDEAM: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
IDIGER: Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático
POT: Plan de Ordenamiento Territorial
SDA: Secretaría Distrital de Ambiente
SDP: Secretaría Distrital de Planeación
SIG: Sistemas de Información Geográfica
SIRE: Sistema de información que apoya la administración de la información relacionada con el proceso de gestión de riesgo y atención de emergencias de Bogotá
CAR: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca

Definiciones:

Áreas con condición de amenaza: según (Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio, 2014) son las zonas o áreas del territorio municipal zonificadas como de amenaza alta y media en las que se establezca en la revisión o expedición de un nuevo POT la necesidad de clasificarlas como suelo urbano, de expansión urbana, rural suburbano o centros poblados rurales para permitir su desarrollo.

Áreas con condición de riesgo: según (Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio, 2014) corresponden a las zonas o áreas del territorio municipal clasificadas como de amenaza alta que estén urbanizadas, ocupadas o edificadas así como en las que se encuentren elementos del sistema vial, equipamientos (salud, educación, otros) e infraestructura de servicios públicos.

Delimitación: según (Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio, 2014) consiste en la identificación del límite de un área determinada, mediante un polígono. Debe realizarse bajo el sistema de coordenadas oficial definido por la autoridad cartográfica nacional y su precisión estará dada en función de la escala de trabajo.

Zonificación: según (Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio, 2014) es la representación cartográfica de áreas con características homogéneas. Debe realizarse

bajo el sistema de coordenadas oficial definido por la autoridad cartográfica nacional y su precisión estará dada en función de la escala de trabajo.

Amenaza: Según (Colombia, 2012) la amenaza es el 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 en los bienes, la infraestructura, los medios de sustento, la prestación de servicios y los recursos ambientales.

Inundación por desbordamiento: De acuerdo al (Ministerio de Ambiente - Ministerio de Hacienda - Fondo Adaptación, 2014): son las inundaciones lentas o de tipo aluvial, debido a que éstas se producen por el desbordamiento del cauce anegando áreas planas aledañas al mismo y suelen ser originadas por crecidas progresivas y de larga duración (horas a días, inclusive meses en algunas zonas del país).

Unidades:

Término	Unidad	
Longitud	m	Metro
Área	ha	Hectárea
	m ²	Metro cuadrado
Porcentaje	%	

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 actualizaría 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. La adopción del nuevo plano y derogación del anterior se debe hacer mediante Resolución de dicha secretaría. Conforme a ello, el plano de amenaza por inundación adoptado en el Decreto 190 de 2004 fue actualizado mediante la Resolución 858 de 2013, 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 Documento Técnico de Soporte – DTS de la actualización del mapa normativo de Amenaza por Inundación por desbordamiento en perspectiva de cambio climático para las zonas urbanas y de expansión urbana a escala 1:5000, en el cual se analizan el río Bogotá, los afluentes, canales y humedales

principales, elaborado por el Instituto Distrital para la Gestión del Riesgo y el Cambio Climático - IDIGER en el marco del proyecto de actualización del componente de gestión del riesgo para la revisión ordinaria del plan de ordenamiento territorial.

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 y la Secretaría Distrital de Ambiente (SDA), así como el reconocimiento de campo que permitió validar los resultados obtenidos durante los trabajos de modelación y evaluación de la amenaza.

El DTS se divide en 16 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 respectivas modelaciones hidrológicas e hidráulicas.

Finalmente, se muestran el mapa definitivo de zonificación de las áreas en condición de 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.

Por otro lado, con relación al Encharcamiento, este es presentado en el Anexo 1. Encharcamiento donde se presenta el Documento Técnico de Soporte para la realización del Mapa de Susceptibilidad por Encharcamiento para la ciudad de Bogotá.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Generar un mapa actualizado de Amenaza por Inundación por desbordamiento en perspectiva de cambio climático 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.
5. Determinar las medidas de intervención para establecer estudios detallados, restricciones y condicionamientos.
6. Construir el Documento Técnico de Soporte con metodología y resultados en la temática de inundaciones por desbordamiento en perspectiva de cambio climático.
7. Apoyar en la definición de programas y proyectos para ejecutar en la planificación en la propuesta de IDIGER a SDP para el POT.

3 ALCANCE Y LIMITACIONES

Dar un soporte técnico a las actividades realizadas para la actualización del plano normativo de Amenaza por Inundación por desbordamiento en perspectiva de cambio climático para el suelo urbano, de expansión urbana y rural de Bogotá DC. Planteando una metodología que dé cumplimiento a lo establecido en el Decreto 1807 de 2014 (compilado por el Decreto 1077 de 2015).

En el desarrollo de la actualización del mapa, se encontraron diferentes limitaciones. Una de las principales y más importantes es la información topográfica base para la realización de los modelos hidráulicos de cada uno de los cuerpos de agua, debido a que en su mayoría no se contó con información totalmente actualizada con las últimas obras de adecuación hidráulica, información que es una variable principal para evaluar la condición de Amenaza por Inundación por desbordamiento en perspectiva de cambio climático. Por lo tanto es necesario que una vez la Corporación Regional y la EAB – ESP terminen la totalidad de las obras de adecuación hidráulica en cada uno de los cuerpos de agua analizados en la presente actualización, hagan la entrega formal de los planos record de obra finales para la actualización de la topo batimetría de los cauces, ya que el IDIGER deberá realizar una comprobación y verificación de los resultados de modelación hidráulica y la correspondiente evaluación de Amenaza por Inundación por desbordamiento en perspectiva de cambio climático.

El detalle de la información topo batimétrica recibida por las diferentes entidades para la realización del presente mapa de Amenaza por Inundación por desbordamiento se encuentra en el numeral 8.

Adicionalmente, se tienen las siguientes consideraciones y/o limitaciones:

- Se evalúa las condiciones de Amenaza por Inundación por desbordamiento con base en las definiciones de amenaza adoptadas por el IDIGER, las cuales corresponden a criterios hidráulicos del comportamiento de los cuerpos de agua.
- La modelación hidráulica tuvo en cuenta las dos márgenes del río Bogotá, sin embargo la margen derecha no contempla evaluación de amenaza, debido a que esta margen no es jurisdicción de Bogotá.
- No se evalúa la amenaza por inundaciones por encharcamiento y/o reflujo del sector ya que este solo se analiza como susceptibilidad y se presenta en el Anexo 1. Encharcamiento del presente DTS.
- Se evalúa la amenaza por inundación que está en función de un análisis de caudales máximos para un periodo de retorno determinado, por tal motivo no se presentan análisis de caudales mínimos que requerirían otro enfoque metodológico.
- El IDIGER se limita a determinar las zonas de amenaza de acuerdo con las premisas descritas en el desarrollo del presente DTS, bajo la claridad de que el

Página 18 de 306



**ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.**

AMBIENTE

Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático

alcance de este documento utiliza como insumos principales los diseños de las obras de adecuación hidráulica y mitigación de crecientes por lo que los resultados están en función de la información disponible.

- Este DTS no pretende en ninguna forma evaluar o avalar los diseños y construcción de las obras de protección de cada uno de los cuerpos de agua analizados, dado que dichas obras son responsabilidad exclusiva de la CAR y la EAB - ESP.
- Las visitas de campo realizadas para la elaboración de la actualización del POT tiene el alcance de la verificación de las condiciones físicas del sector y comprobación de los sitios intervenidos.
- El plano se realizó a una escala 1:5000 de acuerdo a lo estipulado en el artículo 5 “Escalas de trabajo” del (Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio, 2014), por tal razón se deben tener en cuenta las imprecisiones cartográficas de esta escala sobre la delimitación de la Amenaza por Inundación por desbordamiento en perspectiva de cambio climático y todas las medidas requeridas se deben confirmar en campo.



GP-CER453497



CO-SC-CER453496



CO-SC-CER453496



CO-SA-CER366134

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

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

4 CONTEXTO DE LA AMENAZA POR INUNDACIÓN

4.1 GENERALIDADES DEL CAMBIO CLIMÁTICO

La definición de cambio climático tiene diferentes puntos de vista estableciendo como un cambio significativo y estable en las variables climáticas en periodos de tiempo extensos, que afectan patrones locales o globales de clima, ocasionado un cambio en las condiciones climáticas promedio o la distribución de eventos en torno a ese valor esperado, afectando en mayor o menor medida los eventos climáticos extremos (perdidos de estiaje e invierno). Como es de esperarse este, puede estar asociado a la influencia de las actividades antrópicas o a causas naturales terrestres tales como al efecto invernadero o movimientos de la corteza terrestre respectivamente, estudiados por diferentes comunidades científicas, que centran sus esfuerzos a la investigación y posterior planteamiento de escenarios de este fenómeno global, que se respalda en hechos indiscutible como el progresivo decrecimiento de la cobertura de nieve, el incremento del nivel del mar, las variaciones regionales de los patrones de precipitación y los cambios en extremos de tiempo y clima, que se hacen recurrentes en Colombia y América del Sur. (Caicedo, 2003), (IPCC, 2014).

De acuerdo al Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC), lo define como cualquier cambio en el clima que persiste en largos periodos de tiempo (décadas o superiores), por cambios en los valores esperados de las condiciones climáticas, producto de una presión generada al medio por influencia antropogénica o una variabilidad natural (IPCC, 2007). Por su parte, Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio climático (UNFCCC), hace referencia al cambio del clima producto de la actividad antropogénica, que perturba la composición de la atmósfera global que se suma a la variabilidad natural del clima en periodos de tiempo comparables, (IDEAM, 2014). Otro punto de vista surge de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), quien asocia al Cambio Climático como resultados normales de la variabilidad natural de la tierra, como una interacción entre la atmosfera y el océano y la radiación solar total que alcanza la tierra (FONADE y IDEAM, 2013).

4.2 CENTRANDO EL PROBLEMA

Los retos que la variabilidad y el cambio climático imponen mayor ocurrencia e intensidad de eventos extremos, con frecuencias de fenómenos atmosféricos, climas más secos o más húmedos, que tendrán efectos directos sobre la economía, la cultura, el medio ambiente y las decisiones políticas acorto plazo, así como la planeación territorial de cada país, donde la dinámica de producción, extracción, consumo, distribución espacial de los asentamientos van estar influenciados por los cambios en el clima (Rodríguez, 2012), los cuales como consecuencia propician inundaciones, incendios forestales, periodos de estiaje, fuertes vientos, deslizamientos, entre otros, que son más evidentes y cuya predicción y análisis se hace más incierta (Coll, 2013). Acorde con los resultados del

Página 20 de 306

IPCC, donde se evalúan Modelos Climáticos Globales (MCGs), los cuales representan una variabilidad interanual del clima presente a partir de la interacción Océano-Atmosférica, indicando proyecciones con una disminución de la precipitación durante eventos cálidos (El Niño) y aumentos durante eventos fríos (La Niña), ENOS, (Rodríguez, 2012). Lo anterior, aporta a un incremento en las amenazas meteorológicas, hidrológicas y antrópicas, produciendo graves consecuencias en el clima, la atmósfera y la biodiversidad (Grasso & Singh, 2011), donde los cambios en los ecosistemas y usos de suelo generan un incremento de las emisiones a la atmósfera de gases efecto invernadero (GEI), producto de los incrementos de los procesos industriales y quemaduras de combustible fósiles, entre los que se destaca dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hidrofluorocarbonos (HFC's), perfluorocarbonos (PFC's) y hexafluoruro de azufre (SF₆), los gases fluorados (HFC's y PFC's), causantes de la elevación de la temperatura atmosférica detonantes del cambio climático, que vienen acompañados de acuerdos como el protocolo de Kyoto (convenio firmado en 1997);(Fajardo Rodríguez, 2008);(Coll, 2013); (Rodríguez, 2012); (IDEAM, 2014).

En consecuencia a esto, se observa un aumento en las amenazas meteorológicas e hidrológicas, siendo las inundaciones y las sequías la mayor de recurrencia, con una importancia debido a la magnitud de los daños que causan (Domínguez y Lozano, 2014); (Banco Mundial, 2012), los eventos de inundación son los más habituales con un mayor número de registros, con pérdidas de vidas de 1499 entre los años 1970 a 2011 acorde a lo reportado por la asociación OSSO y la universidad EAFIT en el 2011, (Banco Mundial, 2012), donde la distribución del nivel de exposición del territorio a potenciales inundaciones es del 28%, asimismo, The international disasters database (EM-DAT) registra un total de 34 eventos desde los años 1970 a 2000, con un total de 1373 pérdida humanas y 6228339 de afectados

4.3 QUE ES UNA 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).

Las inundaciones se debe básicamente a una falta de planeación de las actividades antrópicas que alteran el medio de forma acelerada propiciando este tipo de fenómenos, producto de la invasión de las rondas de los cauces (planicies de inundación), perdiendo el contacto con el entorno, producto de canalizaciones y sistemas de drenaje pluvial y sanitario, entre otras estructuras para la conducción del agua, olvidando que estas son un proceso normal dentro de las dinámicas de los cauces cuyas frecuencia varían según el cuerpo de agua superficial, (CENAPRED, 2014).

Los sistemas fluviales muestran por un lado un comportamiento hidrológico normal, representado por el régimen estacional y por la irregularidad espacio - temporal, y por otros casos extremos por su magnitud, avenidas y estiajes, que son eventos excepcionales que dependerán de su frecuencia. La amenaza por inundación va a estar determinada por: 1) su magnitud, es decir a la cantidad de caudal que transita por una determinada sección hidráulica, donde se centra en la altura de lámina del flujo y su velocidad en una sección determinada, mientras que 2) la frecuencia está ligado a un concepto de probabilidad de ocurrencia, específicamente en el intervalo de tiempo medio que debe transcurrir para que se presente una avenida con una magnitud dada, (CENAPRED, 2014).

Acorde con lo anterior, el concepto de inundación varía según la institución que administra el recurso hídrico sus usos y su potencial amenaza y riesgo, clasificando a este fenómeno como una sumersión temporal de terrenos, de esta forma se exponen a continuación diferentes puntos de vista y definiciones a este tipo de eventos, como es el caso de La Agencia Federal de Gestión de Emergencias de los EE.UU. (FEMA), cuantifica incluso la superficie anegable en un eventos de inundación clasificándolo como una condición temporal y general de inundación completa o parcial de dos o más acres (4046,86 m²) o de dos o más propiedades a partir de un desbordamiento de aguas superficiales o el colapso o hundimiento de las bancas del cuerpo de agua como resultado de una erosión producto de la acción de corte de las aguas sobre el terreno o a los oleajes que exceden los niveles cíclicos anticipados, (FEMA, 2016). Una concepción parecida es la establecida por la Directiva Europea de la Gestión del Riesgo por Inundación, la cual lo define como el “anegamiento temporal de terrenos que no están normalmente cubiertos por agua”, (DEGRI, 2007). Cabe mencionar que estas definiciones dejan una somera idea de la referencia hecha a los terrenos o “normalmente secos” o “no están normalmente cubiertos por el agua”, haciendo alusión a las llanuras aluviales que pasan de terminados periodos de tiempo estarán emergidas bajo el agua por efecto de este fenómeno.

Por otro lado otras instituciones lo asocian al cambio repentino de la lámina de agua producto de la actividad antrópica y los procesos climáticos e hidráulicos intrínsecos en cada zona, en ese orden de ideas según el Glosario Internacional de Hidrología, se centra al aumento del agua por arriba del nivel normal de una estructura, siendo este último la elevación de la superficie del agua que no causa daños, asociando la inundación a la elevación de lámina de agua dentro del sistema que puede generar pérdidas, (OMM y UNESCO, 1974). De igual forma la avenida la definen como una elevación rápida y

Página 22 de 306

habitualmente breve del nivel de las aguas en un cauce hasta un máximo desde el cual dicho nivel desciende a menor velocidad. (OMM y UNESCO, 1974). Cabe mencionar que una estructura hace alusión a un río, quebrada, canal o alcantarilla, que puedan causar desbordamientos que se extiendan sobre áreas adyacentes, donde estas pueden presentarse por cambios del uso del suelo de materiales permeables a impermeables carentes de un adecuado sistema de drenaje en el caso de suelos urbanos (Bertoni y Adolfo, 2004).

Por otro lado, el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), puntualiza como la inundación como aquel evento que, debido a la precipitación, oleaje, marea de tormenta, o falla de alguna estructura hidráulica provoca un incremento en el nivel de la superficie libre del agua de los ríos o el mar, generando invasión o penetración de agua en sitios donde usualmente no la hay, y generalmente causan daños en la población, agricultura, ganadería e infraestructura, (CENAPRED, 2014).

Acorde con lo anterior se concluye conforme a lo establecido por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), que las inundaciones son 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, pudiendo ser provocadas por situaciones de tipo artificial como rompimientos de presa naturales o artificiales, fallas de diques y/o tabiques y remansos en entrega de canales naturales o artificiales o por un bloqueo en las mismas, (IDEAM, 2014); (SEDANO, 2012).

4.3.1 Clasificación de la Inundación

Las clasificaciones obedecen a su génesis y su distribución espacial según su tiempo de generación

4.3.1.1 Detonante según su génesis

Las cuales se identifican según la causa que detonan el evento. Los principales tipos son:

4.3.1.1.1 Inundaciones pluviales

Asociadas a precipitaciones con intensidades uniformes pero continuas y de larga duración, que provocan la saturación del terreno, disminuyendo las pérdidas que se generan en el medio, acumulando la precipitación efectiva en la zona de inundación alcanzando caudales al pico que se mantiene por varios días, (CNE, 2011); (CENAPRED, 2014); (DGPCE, 2004), donde este tipo de fenómeno, tiene aportes en el país por diferentes sistemas de tiempos que son responsables en los procesos de precipitación son (IDEAM, 2005):

Página 23 de 306

- Zona de Convergencia Intertropical
- Anticiclones subtropicales
- Ondas del Este del Caribe
- Vaguadas de latitudes medias
- Características de meso escala
- Ciclones tropicales
- Sistemas del Pacífico
- Sistema de la Amazonia

4.3.1.1.2 Inundaciones fluviales

Asociadas a precipitaciones con intensidades intensas registras en cualquier parte de la cuenca tributaria y no necesariamente precipitaciones generadas sobre la zona afectada, generando un aumento del nivel de la lámina de agua generando un desbordamiento de del cauce sobre las superficies de los terrenos aledaños a la corriente, donde la principal característica radica en la variación del volumen que discurre, ya que su magnitud dependerá del área aferente de aporte de la cuenca, (SEDANO, 2012); (CENAPRED, 2014); (IDEAM, 2014).

4.3.1.1.3 Inundaciones costeras

Asociadas a un aumento del nivel medio del mar asciende debido a la marea y permite que éste ingrese en las zonas costeras, provocando el cubrimiento de grandes extensiones de terreno. La marea alta es producto de una tormenta originada por vientos de los ciclones tropicales sobre la superficie del mar por la disminución de la presión atmosférica en el centro de estos meteoros, que conjugados con el oleaje del océano desencadenan siniestros dentro de las áreas afectadas, (CENAPRED, 2014).

4.3.1.1.4 Inundaciones por falla de estructuras

Asociadas a un aumento intempestivo del nivel de la lámina de agua que supera la capacidad hidráulica de las obras de control de crecientes que provocan la posterior falla de la misma, propiciando un trasporte de un frente de onda sobre las planicies de inundación, producto de la repentina descarga de una cantidad de agua desde la fuente superficial (río, quebrada o embalse), cuyos tiempo de desarrollo, distribución espacial, velocidades y tensiones de fondo, presentan un potencial destructivo elevado (erosión), (Shigematsu et. al, 2004); (Fernández, 2011). Particularmente su frecuencia es baja y sus mecanismos de falla pueden estar asociados acorde al tipo de estructura, su material de construcción y respectiva fundación, donde se pueden manifestar diferentes estados de falla bien sea por deslizamiento, volcamiento, corte, desbordamiento, tubificación, erosión y sobrecarga asociados a la incertidumbre y probabilidad de ocurrencia de cada uno de los estados de falla, (Apel et. Al, 2006); (Domeneghetti, et. al, 2013)

Por otro lado, los descoles y entregas de los sistemas de alcantarillado de aguas servidas y lluvia, son susceptibles de producir inundaciones y encharcamientos aguas arriba (áreas

Página 24 de 306

urbanas) por reflujos que se generan debido al aumento de las láminas de agua de los cauces donde se hace la entrega. Eventualmente, dichas obras pueden presentar fallas en su funcionamiento hidráulico debido a diferentes factores (ver Tabla 4.1):

Tabla 4.1. Tipos de fallas que desencadenen inundación

Tipos de Falla	Causas
Fallas en el diseño Fallas en las técnicas de construcción	• Información hidrometeorológica escasa • Criterios inadecuados • Metodologías inapropiadas • Materiales inadecuados • Técnicas de construcción • Dinámicas antrópicas no contempladas, como el crecimiento acelerado e impermeabilización del medio.
Mala operación	• Ligado a reglas de despacho inadecuadas en las compuertas de descarga de los embalses al momento de transitar las crecientes
Falta de mantenimiento y término de la vida útil de la obra	• Problema en trazabilidad y gestión de los recursos. • La ausencia de conciencia ciudadana en el manejo de basuras

Fuente: Proyecto POT

Este tipo de inundaciones son llamadas Encharcamientos que van a ser abordados y analizados de forma más particular para la ciudad de Bogotá en el Anexo 1. Encharcamiento.

4.3.1.2 Detonante según su distribución espacial y su tiempo de generación

En la clasificación más sencilla se pueden identificar dos tipos, las Inundaciones lentas y las crecientes súbitas, donde primordialmente se diferencia la respuesta de una cuenca determinada, a una lluvia máxima anual, con una determinada probabilidad de ocurrencia, la cual va depender de las características fisiográficas, edafológicas y geomorfológicas. (Tedela et al., 2012); (CENAPRED, 2014), de lo anterior se establecen dos grupos, grupos: inundaciones lentas e inundaciones repentinas, el primero genera avenidas en un tiempo relativamente largo del orden de horas o días, donde generalmente las inundaciones dejan pérdidas materiales, mientras que el segundo la avenida se genera en un corto tiempo, del orden de minutos o un par de horas, dejando pérdidas materiales y humanas.

4.3.1.2.1 Inundaciones lentas

Estas son las que ocurren en las zonas planas de los ríos y con valles aluviales extensos, los incrementos de nivel diario son de apenas del orden de centímetros, reporta afectaciones de grandes extensiones, pero usualmente pocas pérdidas de vidas

Página 25 de 306

humanas, el tiempo de afectación puede fácilmente llegar a ser del orden de meses, en Colombia el ejemplo más claro es la región de la Mojana. (IDEAM, 2014).

4.3.1.2.2 Inundaciones repentinas o súbitas

Las llamadas crecientes súbitas, se caracterizan por tener áreas de afectación menores, pero el poder destructivo es potencialmente mayor y cobra el mayor número de vidas cuando se presentan, responden rápidamente a la ocurrencia de fuertes precipitaciones en las partes altas de las cuencas, los incrementos de nivel son del orden de metros en pocas horas, y el tiempo de permanencia de estas inundaciones en las zonas afectadas son igualmente de horas o pocos días, estas se presentan en todas las cuencas de alta pendiente de la región Andina principalmente. (IDEAM, 2014), cabe mencionar, En vista de que las crecidas repentinas pueden ocurrir aún si no está lloviendo en el área inmediata, los sistemas de alerta temprana y la preparación son críticos para salvar vidas.

4.3.1.2.3 Flujos torrenciales

Flujo violento de agua en una cuenca, a veces reportado como creciente (súbito, rápido), o como torrente. Se aplica cuando en los reportes aparece como -avalancha-, cuando la avenida transporta troncos de árboles y/o abundantes sedimentos desde finos hasta bloques de roca. Pueden ser generados por lluvias, por ruptura de represamientos o por abundantes deslizamientos sobre una cuenca. Excluye los aludes, porque éstos implican desprendimiento de hielo o nieve. Palabras claves: creciente súbito o rápido, torrente.

4.4 RÉGIMEN DE LLUVIAS

Bogotá está ubicada en la región Andina, esta última posee una gran diversidad pluviométrica, con lluvias relativamente escasas con valores que van hasta 2000 mm a lo largo de la Cordillera Oriental y en los valles del Alto Magdalena y Alto Cauca y núcleos máximos (de 3000 a 5000 mm) en las cuencas del Medio Magdalena y Medio Cauca. (IDEAM, 2005). La ciudad presenta valores que van desde los 700 mm a 1000 mm totales anuales, cuyos periodos con menor aporte son enero y febrero y julio agosto, con valores de 32 mm a 65 mm y 33 mm a 48 mm, respectivamente, entre tanto en los periodos de abril a mayo y octubre a noviembre presentan picos con rangos que varían entre los 92 mm a 134 mm y 88 mm a 142 mm.

La sabana de Bogotá D.C, se caracteriza por tener un régimen climático bimodal, influenciado ese tipo de distribución por los desplazamientos de la zona de Confluencia Intertropical, caracterizando por tener entre 150 a 200 días con lluvia en todo el año, se aprecia un período con menor cantidad de días lluviosos, ubicado en enero y febrero y un segundo período, mucho menos pronunciado, en julio y agosto. En el primer período llueve entre 9 y 10 días/mes; en el segundo, entre 15 y 16 días. Los demás meses presentan más eventos de precipitación tienen cerca de 17 días lluviosos con un máximo de 19 días, especialmente en el segundo periodo en el mes de octubre. (IDEAM, 2005).

Dada la posición geográfica y altitudinal, la sabana de Bogotá presenta un régimen de temperatura isotérmico, con una media de 12 a 18 ° C, otorgando una clasificación climática de frío muy seco a frío muy húmedo acorde a su piso térmico, influenciado por la cordillera Oriental de Colombia, perteneciente al complejo sistema montañoso de los Andes. (IDEAM, 2005).

Lo anterior antepone a Bogotá, como una ciudad con unos índices de precipitación elevadas, y dada la alta intervención de las sub cuencas principales a la altura de la cuenca media del río Bogotá, (Torca, Salitre, Fucha y Tunjuelo), como la deforestación de las cuencas y el proceso de impermeabilización que trae consigo el continuo desarrollo urbanístico de la ciudad, afecta el ciclo hidrológico y disminuyen la capacidad de percolación del agua en suelo, es por ello que la precipitación neta es mayor, haciendo que los flujos superficiales por escorrentía ingresen de una manera directa al caudal de los ríos y sistemas de drenaje de aguas lluvias y combinados. En ciudades con alto desarrollo urbano e incidencia de la variabilidad climática ocasionan que la precipitación sea la principal variable de estudio y que junto con otros factores físicos de las cuencas sean el principal detonante de fenómenos de inundación.

La amenaza por desbordamiento se presenta en la ciudad de Bogotá en relación con los cauces que discurren sobre la planicie inundable del río Bogotá, en la llamada Sabana de Bogotá, e incluye por lo tanto el cauce principal del río Bogotá, y la parte baja de sus afluentes principales, los ríos Torca, Salitre – Juan Amarillo, Fucha y Tunjuelo. La diferenciación de estos sectores es básicamente debido a la pendiente de los ríos, que debe estar por debajo de 0.5%, para presentar flujo subcrítico y por lo tanto condiciones de remanso tipo M1 o M2 durante las avenidas mayores, condiciones bajo las cuales existen los desbordamientos normales sobre la planicie. El caso de pendientes mayores de 0.5% es el caso de flujos casi-críticos, que corresponde al de avenidas torrenciales de diferente grado de intensidad.

4.5 ZONA URBANA Y DE EXPANSIÓN URBANA

En la zona urbana y de expansión urbana se encuentran las pendientes bajas, es decir pendientes menores al 0.5%, que corresponden, como ya se mencionó, a la cuenca media del río Bogotá con sus principales afluentes.

Desde principios del siglo pasado, la EAB-ESP y la EEB, han realizado sucesivas intervenciones en el cauce del río Bogotá, que afectan sus condiciones hidráulicas. La primera intervención, muy drástica, fue la construcción de las compuertas de Alicachín, al final de la Sabana de Bogotá, aguas arriba del Salto del Tequendama, con el fin de mantener los niveles en esta zona para dar cabeza a la desviación de los caudales hacia la llamada entonces Planta de Canoas. Esta intervención, ha limitado fuertemente el propio desarrollo morfológico del río Bogotá, y desde luego afecta los niveles de agua en un trecho bastante grande aguas arriba, en forma tal que los niveles resultan siempre superiores a los que naturalmente generaría la corriente en su condición natural. El efecto

Página 27 de 306

se ha extendido aproximadamente hasta la desembocadura del río Tunjuelo, por lo que se puede decir que afecta las inundaciones en la ciudad de Bogotá, agravándolas.

Por su parte, la EAB-ESP, ha utilizado desde su organización, al río Bogotá, como el emisario final del alcantarillado pluvial y sanitario de la ciudad, y ha intervenido igualmente los afluentes mencionados para drenar sectores importantes de la ciudad, en ocasiones áreas que no pertenecen naturalmente a sus cuencas hidrográficas naturales, modificando en forma muy sustancial las condiciones del drenaje pluvial natural de las cuencas afluentes y las del propio río Bogotá.

La EAB-ESP, además, maneja el acueducto de Chingaza, que aporta caudales del orden de magnitud del caudal medio natural del río Bogotá en el sector donde el río forma el límite oriental de la ciudad. Las aguas de Chingaza, como las del acueducto de Tibitoc, aguas arriba de la ciudad y el de Vitelma en la parte alta de la cuenca del río Fucha, se entregan a la población mediante la red de distribución, y llegan luego como aguas servidas al río Bogotá a lo largo de su cauce, modificando el régimen natural de caudales del río.

A partir de su creación, La CAR, autoridad ambiental de Cundinamarca controla la cantidad y calidad de aguas en la Sabana de Bogotá, con limitaciones en las zonas donde la EAB-ESP y la EEB mantienen control en razón a su creación anterior a la CAR, y a sus necesidades de operación y de servicio.

En las anteriores circunstancias, La EAB-ESP ha tenido hasta época muy reciente, el mayor control y la mayor responsabilidad sobre el mantenimiento de las condiciones hidráulicas del río Bogotá, dado que, de su adecuado funcionamiento, depende el del alcantarillado pluvial y sanitario de la ciudad, y el riesgo de inundaciones en la ciudad.

A través de los años, especialmente en la segunda mitad del siglo pasado, la EAB-ESP ha realizado sucesivos proyectos de mejoramiento hidráulico en el río Bogotá y sus afluentes, comenzando con la concepción del primer Plan maestro de Alcantarillado de la ciudad, realizado por las firmas, CEI, Camp Dresser & McKee y Planhidro en 1967. A partir de esa fecha, y hasta 2002, mediante estudios sucesivos, realizados principalmente por la firma Hidroestudios, (hoy HMY), con algunos consultores extranjeros, modificaron este proyecto original, hasta que, habiéndolo terminado en 2002, la jurisdicción para su construcción pasó por orden judicial a la CAR, quien lo complementó, amplió y modificó, hasta llegar a diseños definitivos para construcción, actividad actualmente en progreso bajo el nombre de “Proyecto de Adecuación Hidráulica y Restauración Ambiental del río Bogotá, en el sector Puente La Virgen-Alicachín”.

Las condiciones hidráulicas del cauce principal del río Bogotá y sus principales afluentes, dependen de los diseños efectuados y del avance del programa de construcción de las adecuaciones hidráulicas en cada cuerpo de agua. Básicamente de la adecuación hidráulica de la cuenca media y alta del río Bogotá que adelanta la CAR.

Página 28 de 306

Esto implica que han de existir algunos puntos críticos en los lugares donde aún no se han realizado estas obras y se podrían presentar desbordamientos. Sin embargo, hasta ahora no se han presentado desbordamientos, en tanto que la EAB-ESP reportó caudales hasta de 230 m³/s en Alicachín y caudales de periodos de retorno de 50 años aproximadamente en algunos afluentes del río Bogotá en el mes de mayo del 2017.

En términos generales, el diseño de la adecuación hidráulica del río Bogotá en la cuenca media considera dragado del cauce, bermas de inundación, realce y refuerzo de jarillones, teniendo en cuenta las posibles avenidas hasta para periodos de recurrencia de 500 años; caudales “conforme a criterio sugerido y discutido con la CAR y sus asesores” (HMW Ingenieros, 2011), las cuales quedan contenidas dentro de los diques de la adecuación (HMW Ingenieros, 2011), excepto por el anegamiento o encharcamiento que pueda existir debido a la imposibilidad total de drenar las aguas superficiales que caigan sobre la ciudad, cuando los niveles altos del río Bogotá y sus afluentes lo impidan; por esta razón, la existencia de proyecto de la CAR no precluye en forma completa la posibilidad de inundación por encharcamiento en la ciudad; tampoco, necesariamente, impide la inundación en caso de rotura de alguno de los diques durante los eventos de avenida con caudales y niveles altos en el río y sus afluentes. Por último, las obras de adecuación hidráulica de la cuenca alta del río Bogotá se encuentran en la fase diseño.

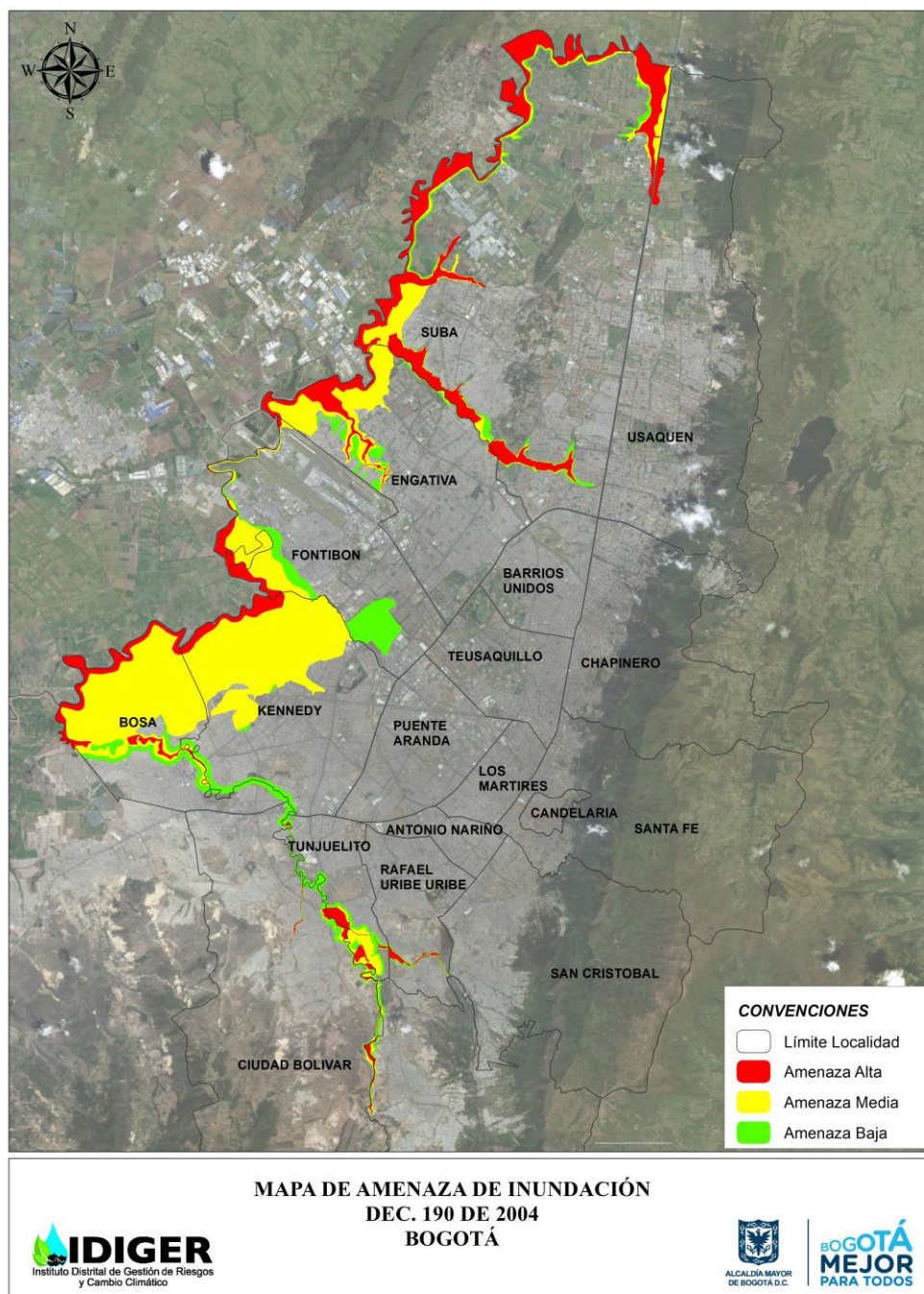
4.6 ZONA RURAL

Los cauces de la zona rural de Bogotá presentan pendientes superiores al 0.5%, pendientes que producen flujos casi-críticos que corresponde al de avenidas torrenciales de diferente grado de intensidad. Por tanto, la Amenaza por Inundación por desbordamiento en esta zona se analizará dentro de la temática de avenidas torrenciales.

4.7 VERIFICACIÓN DE LA DELIMITACIÓN Y ZONIFICACIÓN DE AMENAZA ACTUAL

Con el fin de establecer las condiciones de inundación en la ciudad (zona urbana) y las correspondientes zonas de amenaza alta, media y baja, la Dirección de Prevención y Atención de Emergencias DPAE (hoy IDIGER) elaboró una serie de estudios de zonificación, algunos de ellos extienden su alcance a evaluar la amenaza por inundación y otros a evaluar el riesgo por inundación. Con base en estos estudios se desarrolló el mapa de zonificación de amenaza de inundación para la ciudad contenido en el Decreto 190 (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 2004), identificando zonas con amenaza alta, media y baja de inundación por desbordamiento, el cual se presenta en la Figura 4.1.

Figura 4.1. Mapa de Amenaza por Inundación por desbordamiento (Decreto 190 de 2004)



Fuente: Proyecto POT

Página 30 de 306

En los estudios mencionados, se cuenta con información acerca de la topografía, hidrometeorología, geología, geomorfología, hidráulica, geotecnia, uso del suelo, condiciones sociales, organización social y zonificación de amenaza y/o riesgo de inundación. Los estudios que constituyeron la base para el mapa de zonificación de amenaza vigente se muestran en la **Tabla 4.2**.

Tabla 4.2. Estudios base para el mapa de zonificación de Amenaza por Inundación por desbordamiento Decreto 190 de 2004

Estudio	Alcance	Localidad	Consultor	Fecha	Escala
Zonificación de riesgo por inundación en la localidad de Kennedy.	Amenaza y Riesgo	Kennedy	Ingetec S.A.	1997	1: 5.000
Zonificación de riesgo por inundación en la localidad de Suba	Amenaza y Riesgo	Suba	Ingetec S.A.	1997	1: 5.000
Zonificación de riesgo por inundación en la localidad de Engativá.	Amenaza y Riesgo	Engativá	Ingetec S.A.	1997	1: 5.000
Zonificación de riesgos por inundación localidad de Fontibón: Margen izquierda del río Bogotá	Amenaza y Riesgo	Fontibón	Ingetec S.A.		1: 5.000
Zonificación de amenaza por inundación en el sector norte de la localidad de Suba.	Amenaza	Suba	Estudios y Asesorías Ingenieros Consultores	1998	1: 5.000
Zonificación de riesgo por inundación del río Bogotá y acciones para su mitigación.	Amenaza	Bosa	Estudios y Asesorías Ingenieros Consultores	1998	1: 5.000
Zonificación de riesgo por inundación del río Juan Amarillo	Amenaza y Riesgo	Usaquén, Chapinero, Teusaquillo, Engativá y Suba	Hidrotec Ltda.	1998	1: 5.000
Zonificación de riesgo por inundación en diferentes localidades del Distrito.	Amenaza y Riesgo	Fontibón, Tunjuelito, Bosa, Ciudad Bolívar	Ingetec S.A.	1998	1: 5.000
Zonificación de amenaza por inundación del río Fucha.	Amenaza y Riesgo	San Cristóbal, Fontibón, Kennedy	Hidroconsulta Ltda	1999	1: 5.000

Fuente: Proyecto POT

Con base en los estudios mencionados se realizó la unificación de los criterios de evaluación de amenaza de inundación, la DPAE oficialmente adoptó las definiciones de amenaza alta, media y baja de inundación por desbordamiento de acuerdo con los criterios planteados en la metodología utilizada por INGETEC (1999) y actualmente se utiliza para la emisión de conceptos técnicos en zonas de inundación por desbordamiento, las definiciones adoptadas se muestran en la **Tabla 4.3**.

Tabla 4.3. Definiciones de amenaza alta, media y baja adoptadas

Categorización de la amenaza	Descripción	Probabilidad de ocurrencia
AMENAZA ALTA	Zona delimitada por la línea de inundación producida por el desborde del cauce calculado para el caudal de creciente de un periodo de retorno menor o igual a 10 años, ya sea por causas naturales o intervención antrópica no intencional, y con una profundidad de lámina de agua igual o superior a 0,50 m, duración, caudal y velocidad con efectos potencialmente dañinos graves. Esta franja tiene una probabilidad de estar inundada por lo menos una vez cada diez años durante la vida útil del jarillón hasta ese nivel.	>65%
AMENAZA MEDIA	Zona delimitada por la línea de inundación producida por el desborde del cauce calculado para el caudal de creciente entre los periodos de retorno de 10 y 100 años, ya sea por causas naturales o intervención antrópica no intencional, y con una profundidad de lámina de agua, duración, caudal y velocidad con efectos potencialmente dañinos moderados.	10% -65%
AMENAZA BAJA	Zona delimitada por la línea de inundación producida por el desborde del cauce calculado para el caudal de creciente de un periodo de retorno mayor o igual a 100 años, ya sea por causas naturales o intervención antrópica no intencional, y con una profundidad de lámina de agua con efectos potencialmente dañinos leves. Esta franja tiene una probabilidad de estar inundada por lo menos una vez cada cien años durante la vida útil del jarillón.	< 10%

Fuente: Proyecto POT

En el numeral 8 del artículo 156 del Decreto 190 de 2004 (Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá. D.C. - POT), por medio del cual se compilan las disposiciones contenidas en los Decretos Distritales 619 de 2000 y 469 de 2003, se incorpora el Mapa N° 4, Amenaza por inundación.

En el párrafo 1° del artículo 112 del Decreto 190 de 2004, se establece que “*los instrumentos de planeamiento formulados para áreas que colinden o involucren el área de manejo especial del río Bogotá, se ajustarán a los lineamientos y diseños del estudio*

Página 32 de 306

denominado "Plan Maestro de la Zona de Manejo y Preservación Ambiental del río Bogotá", realizado por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, el Departamento Administrativo de Planeación Distrital y el Departamento Técnico Administrativo de Medio Ambiente".

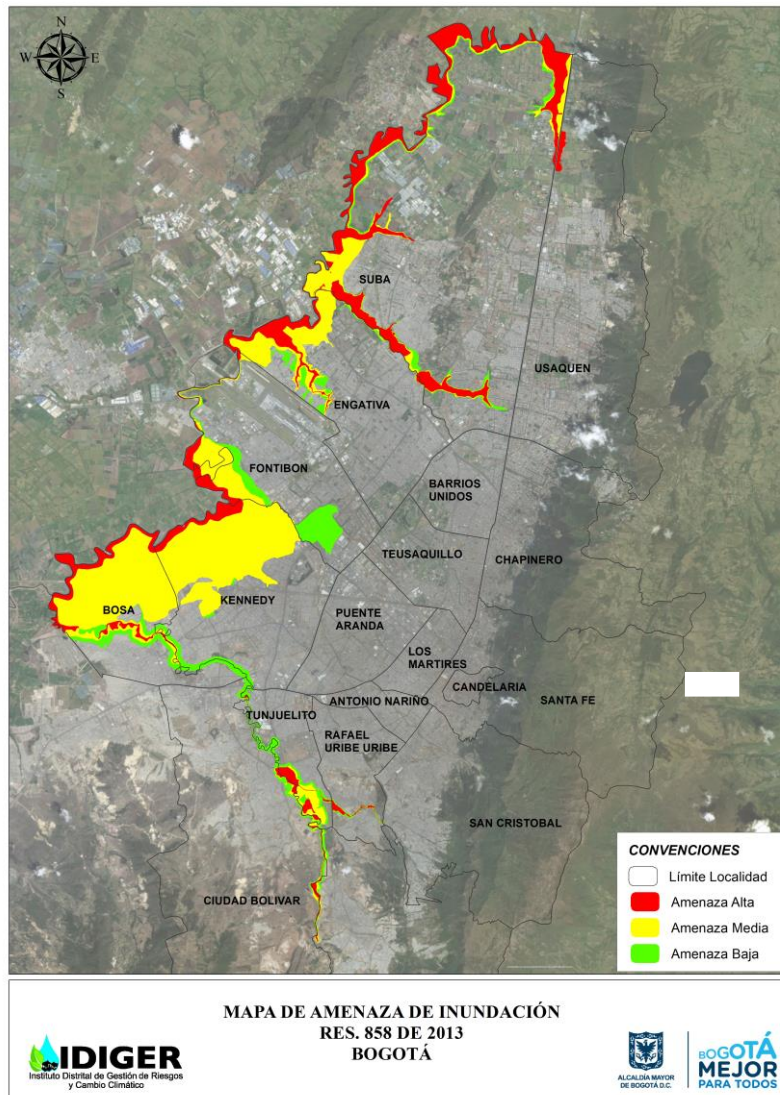
A su turno, para la actualización de los planos normativos del Plan de Ordenamiento Territorial, conforme con el artículo 471 del Decreto 190 de 2004, se previó que la Secretaría Distrital de Planeación actualizaría los planos oficiales adoptados por este Decreto, con base en los actos administrativos que desarrolle el Plan, con el objeto de mantener actualizada la cartografía temática en cada uno de los niveles de información que la conforman. La adopción del nuevo plano y derogación del anterior se debe hacer mediante Resolución de dicha secretaría.

El plano normativo de Amenaza por Inundación por desbordamiento vigente se actualizó mediante la Resolución 858 del 26 de julio 2013 de la Secretaría Distrital de Planeación, "Por la cual se actualiza el mapa número 4 del Decreto 190 (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 2004)", donde se utiliza como referencia los conceptos técnicos de legalización y de planes parciales: mediante los cuales se lleva la Amenaza por Inundación por desbordamiento a una escala de predio. Por lo cual es de esperarse que la modificación del plano corresponda a un aumento de escala y no a la modificación de las condiciones de amenaza, con excepción de los casos en los cuales se realice un nuevo estudio de zonificación que respalde el concepto.

Como resultado de este ejercicio se realizó la actualización del plano de amenaza de inundación incorporando el Concepto Técnico CT-4536 emitido para el sector denominado "Gavilanes" en la localidad de Suba que tiene como soporte técnico las comunicaciones de la EAB-ESP indicando la culminación de las obras de realce del jarillón de la margen izquierda del río Bogotá entre el Humedal Juan Amarillo y el Humedal la Conejera y el Concepto Técnico CT-6697 emitido para el Plan Parcial San José de Maryland que realiza un ajuste basado en el análisis de criterios principalmente de carácter geomorfológico, hidrológico e hidráulico, de acuerdo con la información disponible, el reconocimiento de campo y la adopción de algunas premisas fundamentales para garantizar la estabilidad de la evaluación.

El plano normativo de Amenaza por Inundación por desbordamiento (Figura 4.2), a la fecha contiene las zonas de amenaza alta, media y baja de: El río Tunjuelo, la quebrada Limas, la quebrada Chiguaza, el río Fucha, el río Juan Amarillo, los humedales Jaboque, Juan Amarillo, Conejera, Guaymaral y Torca y el río Bogotá.

Figura 4.2. Mapa Vigente Amenaza por Inundación por desbordamiento (Resolución 858 de 2013)



Fuente: Proyecto POT

5 ÁREA DE ESTUDIO

De manera general, la red hídrica del Distrito está conformada por las cuencas media del río Bogotá y alta del río Sumapaz, ambos afluentes del río Magdalena; y la cuenca alta del río Blanco, afluente del río Orinoco.

El área objeto de estudio comprende aquellas zonas susceptibles a inundaciones por desbordamiento pertenecientes a la ciudad de Bogotá, en relación con los cauces que discurren sobre la planicie inundable del río Bogotá, incluyendo su cauce principal y la parte baja de sus afluentes principales, los ríos Torca, Juan Amarillo o Salitre, Fucha y Tunjuelo. Estos sectores presentan como característica principal, pendientes en los ríos por debajo de 0.5%, para presentar flujo subcrítico y por lo tanto condiciones de remanso tipo M1 o M2 durante las avenidas mayores, condiciones bajo las cuales existen los desbordamientos normales de tipo lento sobre la planicie.

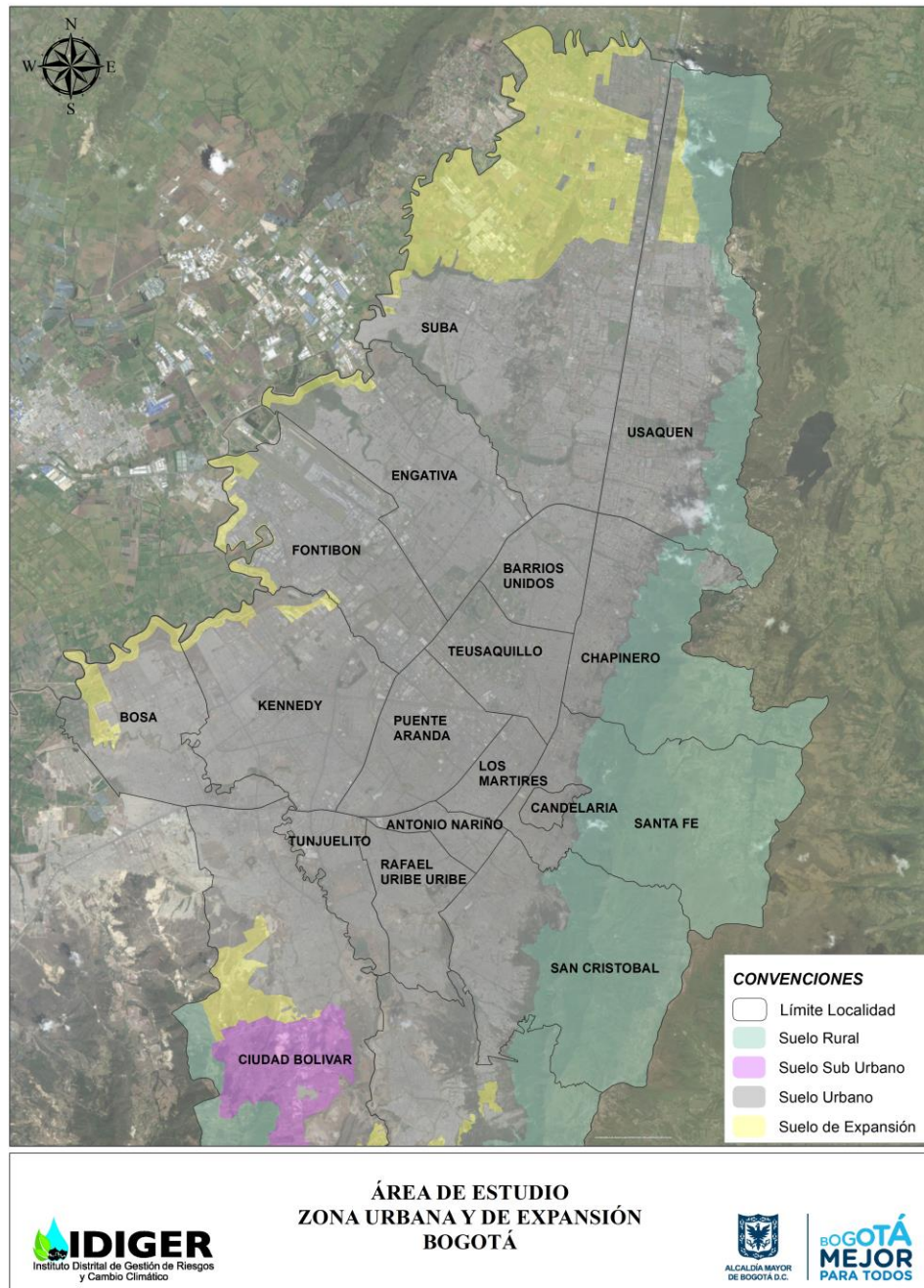
A una escala más detallada, el sistema hidrográfico de Bogotá está formado por las cuencas de los ríos Salitre o Juan Amarillo, Fucha y Tunjuelo, las cuales drenan el agua de más del 90% del área urbanizada actual. También se encuentran las cuencas de Torca, La Conejera, El Jaboque y el Tintal, que drenan sectores periféricos del norte, noroccidente y suroccidente de la ciudad. Todos estos cuerpos de agua mencionados hacen su entrega final hacia el cauce del río Bogotá (en su cuenca media), este último corre a todo lo largo del costado occidental del área urbana y a su vez drena en dirección sur hacia el Río Magdalena a una altura de unos 280 msnm, en el municipio de Girardot (SDA, 2015).

A continuación se describen las cuencas objeto de estudio de inundación por desbordamiento dentro de la zona urbana del distrito. Cabe aclarar, que las cuencas de los ríos Blanco, Sumapaz y Teusacá, por sus características morfológicas, fueron analizados dentro de la temática de zonificación por avenidas torrenciales; sin embargo dichas cuencas son mencionadas en este capítulo, por ser parte del sistema hídrico del distrito.



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

Figura 5.1. Área de estudio zona Urbana y Expansión



Fuente: Proyecto POT

5.1 RÍO BOGOTÁ

El río Bogotá es uno de los ríos más importantes de Colombia dado que alberga en su cuenca media la zona urbana de Bogotá, capital de la república, con una población de cerca de ocho millones de personas, con 2 a 3 millones más distribuidos en los varios municipios vecinos, dentro de su cuenca hidrográfica.

El río nace hacia los 3.300 m.s.n.m. en el páramo de Guacheneque, en el municipio de Villapinzón al nororiente de Cundinamarca, para descender luego el relieve hasta la sabana a una elevación de 2.600 m.s.n.m. Desde un nacimiento hasta su desembocadura al río Magdalena, el río recorre cerca de 385 km de longitud, drenando una superficie de 5.955 km², ocupando el 32% de la superficie del departamento de Cundinamarca.

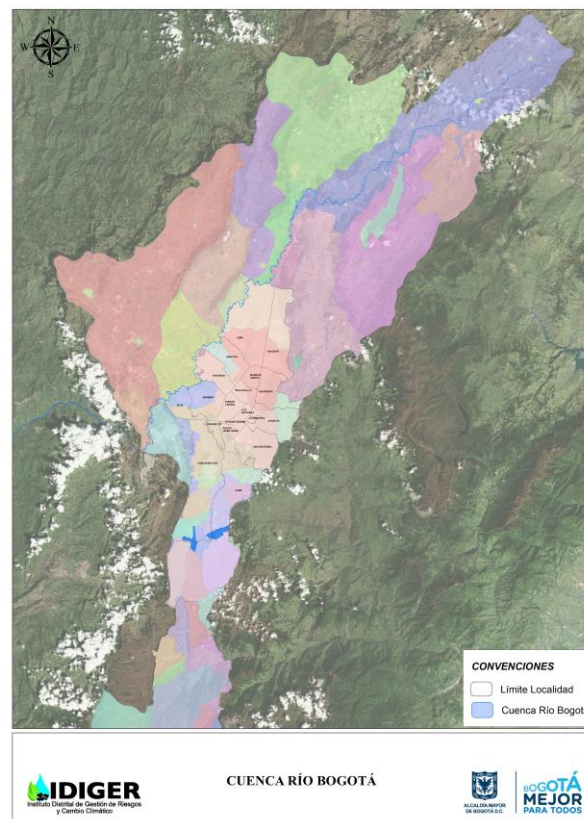
En la trayectoria del Río Bogotá pueden distinguirse tres zonas: Cuenca Alta, desde su nacimiento hasta el puente del Común y la carretera central de occidente, con un área total de 4341 Km² y una zona montañosa de cerca de 3061 Km², con una longitud de cauce cercana a los 165 Km; la Cuenca Media, llamada también la “Sabana de Bogotá”, de 1280 Km² entre el punto anterior y el salto del Tequendama, de 157 m de altura, con una longitud del cauce de 90 Km, y la Cuenca Baja, de 1614 Km² entre el Salto y la desembocadura en el Río Magdalena, a 350 msnm, con 120 Km de recorrido.

La cuenca media del río Bogotá, objeto de análisis en el presente proyecto, recorre los municipios de Funza, Mosquera, el Distrito Capital y parte del municipio de Soacha. Presenta un cauce meándrico y de planicie aluvial, siendo el último tramo del río sobre la sabana, luego de recibir los caudales disminuidos de los ríos Chicú y Frío. Por su baja pendiente y las compuertas de Alicachin, el río se comporta como un canal-embalse. En inmediaciones con la ciudad de Bogotá, como se mencionó anteriormente, recibe los caudales transportados por varios cuerpos de agua entre humedales y ríos que conforman el sistema de drenaje pluvial del Distrito Capital, como son de acuerdo con su aporte de norte a sur; 1) El río Torca, que drena los humedales de Guaymaral y Torca, al norte de la ciudad y recibe las aguas de varias quebradas que nacen en los cerros orientales; 2) El humedal de La Conejera, que drena las aguas de la quebrada La Salitrosa; 3) El río Juan Amarillo o Salitre, que drena el humedal Córdoba y los canales Córdoba, Contador, Callejas y Los Molinos, por un lado y los ríos Negro y Arzobispo por el otro, al igual que varias quebradas que provienen de los cerros; 4) El humedal de Jaboque, que recibe las aguas del canal Los Ángeles; 5) El río Fucha y su principal tributario el río San Francisco; 6) El canal Cundinamarca, que drena los humedales de Techo, el Burro y La Vaca, y los canales Tintal I, II, III y IV, que descargan sus aguas por medio de estaciones de bombeo al río y 7) finalmente el río Tunjuelo, conformado en sus cabeceras por los ríos Mugroso, Chizacá y Curubital, en su parte media por las quebradas Yomasa, Santa Librada y Chiguaza y en su parte baja por las descargas de los humedales de Timiza, Laguna Terreros y Tibanica. En la Figura 5.3 se presenta el río Bogotá en la cuenca media con sus principales afluentes.

Durante su recorrido por una amplia zona del departamento de Cundinamarca, recibe las descargas contaminantes de las diferentes poblaciones, pasando a ser uno de los más deteriorados del mundo. Once ríos afluentes lo contaminan, tres de ellos de manera letal: El río Juan Amarillo o Salitre que le descarga 123 toneladas de desechos al día; el río Fucha, con una descarga de 590 toneladas/día y el río Tunjuelo, con una descarga de 616 toneladas. De esta manera el río Bogotá vierte diariamente 1.473 toneladas de sólidos en suspensión al río Magdalena (CAR, 2011).

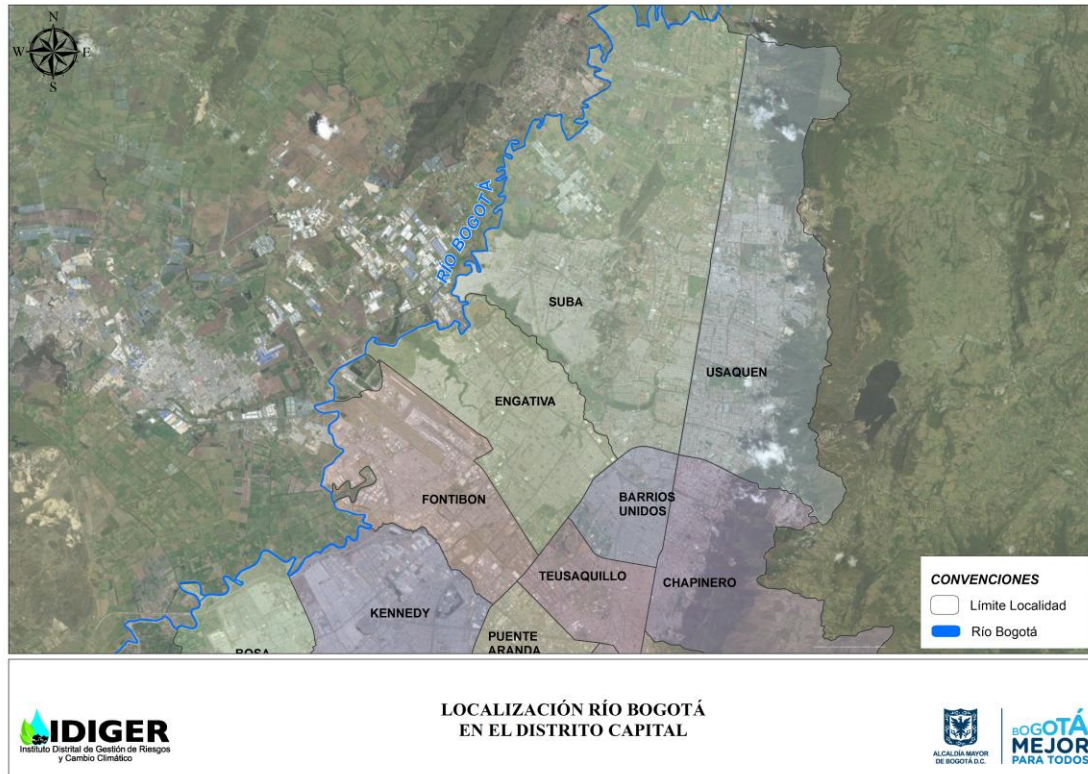
Finalmente, por su localización a nivel regional y central del territorio colombiano permite que se adelanten acciones encaminadas a la conservación, restauración y protección de todo el sistema hídrico contribuyendo con el saneamiento ambiental y el equilibrio ecológico del ecosistema conformado por el río Bogotá.

Figura 5.2. Cuenca río Bogotá



Fuente: Proyecto POT

Figura 5.3. Localización río Bogotá en el Distrito Capital



Fuente: Proyecto POT

5.2 RÍO TORCA

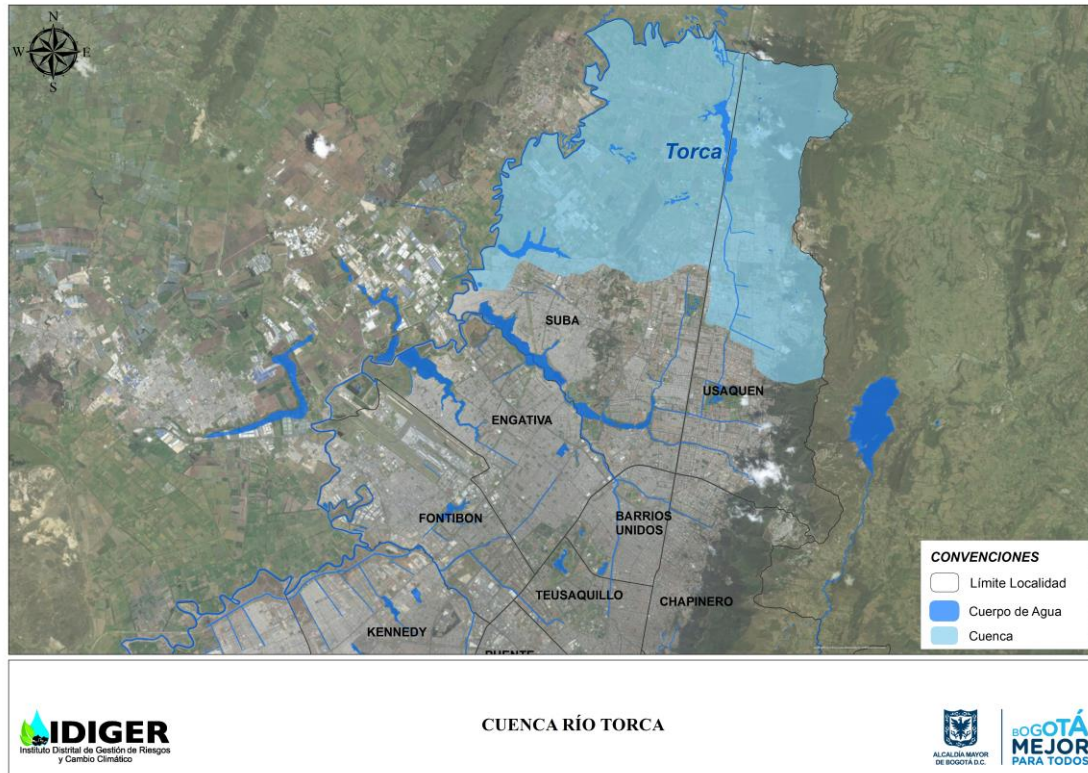
La cuenca del canal Torca tiene un área de drenaje 6.008,69 hectáreas y su eje principal cuenta con una longitud de 13.06 km, desde el conjunto residencial Bosque de Pinos ubicado en la Carrera 6 con Calle 153 hasta su entrega al río Bogotá. El río Torca nace en los cerros orientales y desemboca al sistema humedal Torca-Guaymaral a altura de la Autopista Norte, en cercanía a los terrenos del cementerio Jardines de Paz, y a su vez drena al norte de la cuenca media del río Bogotá. La cuenta se conforme por tres subcuencas principales: El Cedro, San Cristóbal y Serrezuela, que se inician en los cerros orientales de la ciudad, cuyos canales se encuentran revestidos (CSHB, 2008). Posteriormente, las aguas son conducidas hacia el humedal Torca, para finalmente entregarlas a la cuenca media del río Bogotá.

La principal fuente de contaminación en el Canal Torca en su primer tramo corresponde a la red de alcantarillado público (sanitarios, pluviales o combinados). Así mismo, el área asociada al segundo tramo del río Torca no cuenta con red de alcantarillado público por lo

Página 39 de 306

tanto allí se asientan usuarios generadores de vertimientos como instituciones educativas y conjuntos residenciales que vierten sobre una red de acequias que conducen las aguas residuales al río.

Figura 5.4. Cuenca río Torca



Fuente: Proyecto POT

Las fuentes de contaminación de esta corriente son aguas residuales domésticas, asociadas a los puntos de vertimientos que descargan sobre el Canal Torca y sus afluentes que aportan entre otras cargas de materia orgánica, sólidos suspendidos totales (SST) y coliformes fecales. Lo anterior se ha evidenciado por los resultados de las caracterizaciones realizadas por RCHB en los cuatro puntos monitoreo de la calidad y cantidad del agua, que estas distribuidos en los dos tramos que conforman esta corriente (SDA, 2015).

5.3 RÍO SALITRE

El río Salitre o Juan Amarillo nace a una altura de 3200 m con el nombre de quebrada Arzobispo en los Cerros Orientales y cubre algunas de las subcuencas que nacen en el sector norte de Ciudad, incluyendo las que nacen en los cerros de Suba. Una de estas subcuencas es la del río Salitre y Negro que a su vez es alimentado por las aguas provenientes del humedal de Córdoba y del Canal Salitre, este último integrado por cuatro drenajes hoy convertidos en canales de aguas lluvias.

La cuenca del Salitre tiene un área de drenaje de 13.964 hectáreas. Posee una longitud de cauce principal de 19,76 km y la pendiente media del cauce es de 3,32 %. Su altura promedio es de 2.870 msnm, donde la cota máxima está por el orden de los 3.200 msnm y la mínima está sobre los 2.540 msnm aproximadamente. El río Salitre es canalizado desde el Parque Nacional Enrique Olaya Herrera (carrera 7ª) hasta la carrera 30, siendo límite entre las localidades de Chapinero y Santa Fe. A partir de su cruce con la Avenida NQS, se denomina Río Salitre hasta su cruce con la carrera 68, donde recibe el nombre de Río Juan Amarillo en referencia al humedal existente en esta parte de la ciudad (entre las localidades de Engativá y Suba) (CSHB, 2008). Es de aclarar que su canalización finaliza en la entrega del río al humedal Juan Amarillo.

Limita al sur con la cuenca alta del río San Francisco, hacia el norte se extiende hasta los predios del Parque Nacional. En su recorrido recibe numerosos afluentes tales como las quebradas Las Delicias, Rionegro, Los Molinos, El Chicó y La Chorrera. El río es el colector final de las aguas negras y lluvias de la mayor parte de la zona norte de la ciudad; su tramo inferior presenta condiciones de alcantarillado abierto, luego de recibir la descarga de aguas negras de los interceptores enterrados. Dentro de su cuenca se encuentra la laguna de Juan Amarillo, que actúa como embalse de amortiguación de crecidas y reduce los caudales, antes de descargar sus aguas en el río Bogotá.

Administrativamente, la cuenca del río Salitre está conformada por fracciones de las localidades de Barrios Unidos, Engativá, Santafé, Chapinero, Suba, Usaquén y Teusaquillo.

Como principales aferentes del río Salitre se tienen el Canal Arzobispo, Virrey, río Negro, Castellana, río Nuevo, humedal Córdoba y el brazo derecho del humedal Juan Amarillo.

- Canal Arzobispo: Se toma su inicio en el desarenador del Parque Nacional a la altura de la carrera Séptima con calle Treinta y Nueve, recorriendo hasta la carrera 30 con calle Cuarenta y Ocho, con una longitud cercana a los 3.4 km.



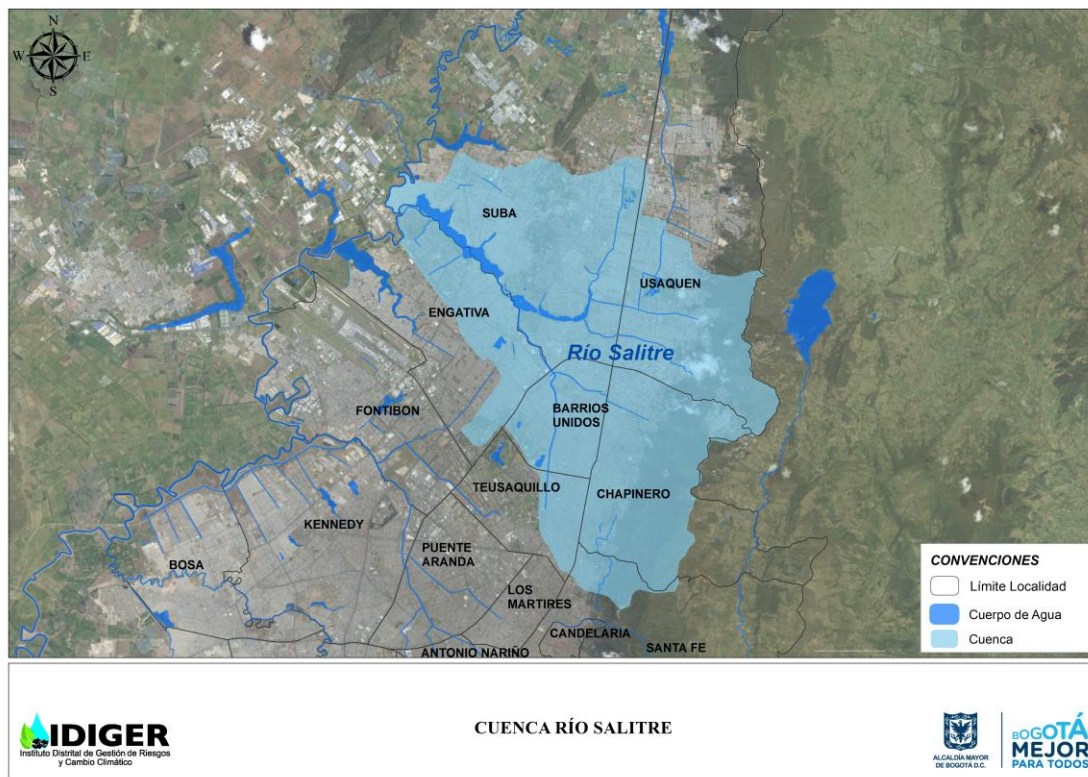
**ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.**

AMBIENTE

Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático

- Canal Virrey: Inicia al costado occidental de la carrera Séptima con calle Noventa y Ocho hasta su entrega al canal río Negro, teniendo como longitud total 1.8 km, revestido en concreto y ladrillo pegado.
- Canal río Negro: Presenta una longitud cercana a los 2 km, con revestimiento en concreto conformando una sección de tipo trapezoidal. Inicia a la altura de la calle Noventa con carrera Cuarenta y Ocho, punto donde hacen entrega los canales Virrey y La Castellana y finaliza al occidente en su entrega al río Salitre a la altura de la carrera Sesenta y Ocho con calle Noventa.
- Canal La Castellana: Se toma su inicio en la Autopista Norte con calle Noventa y Cinco hasta su entrega al canal río Negro.
- Canal río Nuevo: Canal de longitud cercana a los 200 m, conformado por secciones de tipo trapezoidal y revestimiento en concreto. Hace entrega al río Salitre a la altura de la calle Ochenta con carrera Sesenta y Ocho.

Figura 5.5. Cuenca río Salitre



Fuente: Proyecto POT

5.4 RÍO FUCHA

La cuenca de Río Fucha, está localizada en la Cordillera Oriental de los Andes Colombianos, en un altiplano de 2600 metros, circundando por estribaciones montañosas que superan los 3500 metros de altura sobre el nivel del mar. El río Fucha nace en los cerros orientales de Bogotá, en la confluencia de las quebradas La Osa y Upata en el páramo Cruz Verde con el nombre de Río San Cristóbal.

El río Fucha es uno de los cuerpos hídricos más importantes de la sabana de Bogotá con una longitud de 17,30 km, cual nace en los cerros orientales. La cuenca tiene un área total de drenaje de 17.536 Ha, correspondientes 12.991 ha urbanas y 4.545 Ha en la parte rural (correspondiente a los cerros orientales); y una pendiente promedio del 5.3 % (POMCA río Fucha).

La cuenca del río Fucha dada su conformación y longitud, se subdivide en tres sectores, cuenca alta la cual corresponde a la parte montañosa, donde se encuentra con su cauce natural que toma dirección oriente occidente, cuenca media que inicia a la entrada del río al perímetro urbano de la ciudad de Bogotá hasta la avenida Boyacá y la cuenca baja desde la avenida Boyacá hasta su desembocadura en el Río Bogotá. Está localizada en el sector centro-sur del Distrito Capital, y drena las aguas de oriente a occidente para finalmente entregarlas al río Bogotá (CSHB, 2008).

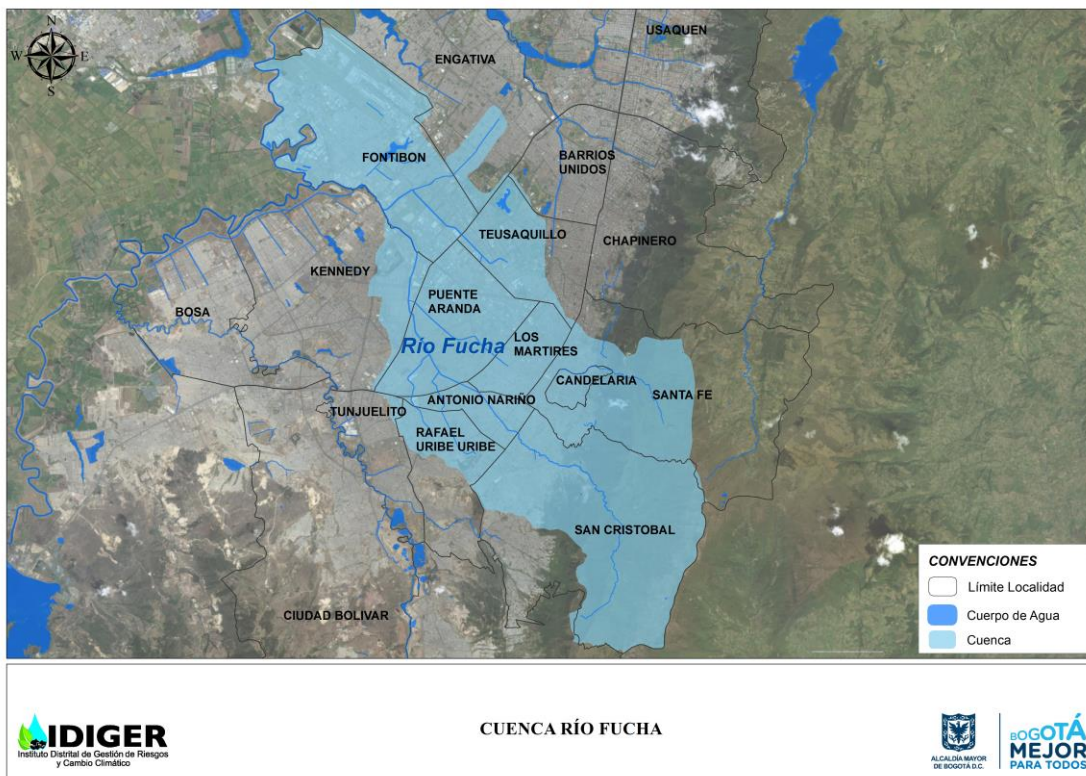
Hacen parte de esta cuenca los canales San Blas, Los Comuneros, Albina, Río Seco y las quebradas Finca, San José, La Pena, Los Laches, San Cristóbal, San Francisco, Santa Isabel, Honda, entre otras. Como ecosistemas asociados se encuentran los humedales de Techo, El Burro, La Vaca y Capellanía. La red de alcantarillado de esta cuenca consta de tres sistemas (combinado, pluvial y sanitario) con una longitud existente de 1.787 km. La red combinada (aguas lluvias y aguas negras juntas) está localizada al oriente de la cuenca y drena, a través de los respectivos canales e interceptores, hacia un área en el occidente donde el sistema está separado (pluvial y sanitario) (CSHB, 2008).

Es una de las cuencas más importantes de la ciudad, dada su influencia directa e indirecta en 12 de las 20 localidades de la ciudad, sus principales afluentes cruzan las localidades de San Cristóbal, Santa Fe, La Candelaria, Los Mártires, Antonio Nariño, Rafael Uribe Uribe, Puente Aranda, Teusaquillo, Kennedy y Fontibón. El río Fucha propiamente dicho pasa por su parte por las localidades de San Cristóbal, Antonio Nariño, Puente Aranda, Kennedy y Fontibón, marcando la frontera entre las dos últimas.

El río Fucha se encuentra canalizado entre la carrera 6 hasta la desembocadura sobre el río Bogotá, con un recubrimiento en concreto exceptuando los últimos 2800 metros que presenta un canal en la tierra. El río Fucha canalizado recibe los caudales de los canales Albina, Río Seco, San Francisco y Comuneros.

- El Canal San Francisco se muestra a cielo abierto desde la carrera 47 con calle 26 y recorre paralelo a la Avenida de la Esperanza de Sur a Norte hasta recibir el canal Boyacá para posteriormente desembocar en el Río Fucha.
- El Canal Comuneros aparece en la calle 6 con carrera 22 y recorre paralelo a la calle 6 hasta la carrera 40 y luego toma hacia el sur hasta recorrer paralelo a la calle 3 hasta desembocar en el canal Fucha una vez atraviesa la carrera 68.
- El Canal de La Albina, comprendido desde la carrera 13 con calle 29 sur, ingresa a la localidad Antonio Nariño por la Avenida carrera 27 sur con calle 31 sur en dirección al occidente en el límite de los barrios Santander Sur, Eduardo Frey y periferias del barrio San Jorge Central.
- El Canal de Río Seco inicia en la carrera 25 con calle 38 sur, va al occidente por el antiguo cauce del río seco, atraviesa la localidad de Puente Aranda por el extremo occidental entre los barrios Villa Mayor y Cinco de Noviembre.

Figura 5.6. Cuenca río Fucha



Fuente: Proyecto POT

5.5 RIO TUNJUELO

La cuenca del río Tunjuelo está localizada al sur oriente del Distrito Capital y el municipio de Soacha, con un área total de drenaje cercana a 388.13 km², distribuida en distintas proporciones en las localidades de Usme, Ciudad Bolívar, Kennedy, Tunjuelito, Rafael Uribe Uribe, San Cristóbal, Puente Aranda, Antonio Nariño, Bosa y el municipio de Soacha. La pendiente media es de 0.019 m/m referente a la diferencia que existe entre las cotas 3850.00 m.s.n.m y 2536.00 m.s.n.m de 1314.00 m, correspondiente a la zona de nacimiento en la laguna de los Tunjos o Chisacá, en las estribaciones del páramo de Sumapaz, donde drena la cuenca en dirección sur a norte hasta la parte baja de la misma hasta el sector de Usme, donde gira su curso en dirección occidente hasta desembocar en el río Bogotá hacia la zona de cultivos del barrio San Bernardino XXII, recorriendo una distancia total de 73.00 km, donde las elevaciones están de acuerdo con el sistema de referenciación del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), (POMCA, IHT, INGETEC, SAT).

El relieve es en su mayoría es fuertemente ondulado a fuertemente inclinado, con pendientes del 12.00% al 25.00% con el 41.00% del total del área ocupando así 163.01 km², le siguen las pendientes fuertemente escarpadas del 25.00% al 50.00% con un 22.96% del área total cercano a los 89.11 km², las pendientes bajas menores al 7.00% componente el 18.76% equivalente a 72.81 Km². Las pendientes onduladas a inclinadas, el 14.49% del total del área y las pendientes escarpadas a fuertemente escarpadas, es decir aquellas superiores al 50%, solo ocupan el 2.41%. El cauce principal así como los tributarios son de tipo sinuoso, con una red de drenaje densa que dificulta la infiltración del agua debido a la escorrentía superficial rápida producto de la actividad antrópica de la zona y controles geoestructurales, clasificando la cuenca del río Tunjuelo como de tercer orden, la cual se compone de 20 subcuencas de cuarto orden como afluentes, cuyos principales principales tributarios de la cuenca son los ríos Chisacá, Mugroso y Curubital que desciende del páramo de Sumapaz y alimentan el embalse de Chisacá y el embalse de la Regadera, constituyendo el sistema de abastecimiento de agua potable de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá para la localidad de Usme y la extracción de materiales de construcción, (POMCA).

Dentro de la cuenca del río Tunjuelo, se observan variaciones de la precipitación producto del paso de la Zona de Confluencia Intertropical, tanto en el primer semestre del año como en el segundo afectando en gran medida la zona derecha de con precipitaciones totales que van de 1400.00 mm/ año a 1500.00 mm/ año, con reducciones hacia la zona baja con valores del orden de 400.00 mm/ año a 500.00 mm/ año, la media se estima en 856.00 mm/año, con un caudal medio anual de 4.98 m³/s y un rango medio mensual de 2.77 a 8.88 m³/s en la estación Puente Bosa cerca de la desembocadura del Río Bogotá. (POMCA).

Las características morfológicas e hidrográficas de la cuenca del río Tunjuelo permiten dividir la zona en tres zonas La parte alta y la media, territorios rurales de páramo, ricos

Página 45 de 306

en agua y biodiversidad, lo que los hace zona de preservación y protección ambiental. Finalmente se encuentra la Cuenca Baja, conformada por suelo urbano, (POMCA, SAT, INGETEC)

La cuenca alta corresponde a la zona más escarpada de la Cuenca y comprende el área localizada entre la Laguna de los Tunjos, lugar donde nace el río Tunjuelo en el páramo de Sumapaz, hasta el Embalse de la Regadera, las pendientes son pronunciadas en esta zona, superiores al 40.00% típico de cauces de montaña cubriendo un área de drenaje de aproximadamente 140 km², un 35% del área total (POMCA). Del páramo de Sumapaz y de la Laguna de Los Tunjos descienden los ríos Chisacá y Mugroso que alimentan la represa de chisacá con un volumen total de 6,81 hm³, por el costado derecho están los ríos Curubital y Carizal que confluyen a la presa la Regadera con un volumen total de 3,73 hm³, de cuya confluencia procede el río Tunjuelo, el volumen total conjunto de estos embalses, es de 10,54 hm³, que permite obtener un caudal regulado de cerca de 1,0 m³/s, aprovechado para el abastecimiento de agua en las plantas de potabilización de La Laguna y Vitelma, permiten el suministro de agua potable para 250.000 personas que habitan en la localidad de Usme, abastecidos así por la captación de agua que realiza la cuenca (INGETEC). Cabe mencionar que las condiciones hidráulicas del río serán modificadas una vez se realice el ampliación de la capacidad de embalse en La Regadera, de 3,73 hm³ a 32,14 hm³, el volumen total conjunto de Chisacá y La Regadera se incrementaría a 38,95 hm³, que sería utilizado en la regulación del caudal del río Tunjuelo para aumentar el abastecimiento de agua para acueducto, hasta 2,42 m³/s. (INGETEC).

La cuenca media se extiende desde el Embalse La Regadera hasta el Embalse seco de Cantarrana, localizado aguas arriba de la confluencia de la Quebrada Yomasa, cuya principal función es la de amortiguar la creciente con el periodo de retorno de 100 años, regulando los caudales desde el año 2008 cuando fue finalizada su construcción, además de realizar obras conjuntas como los realces de los jarillones, dragados del cauce y obras de mitigación establecidas en el Plan de Ordenamiento Territorial- POT, (INGETEC EAB-ESP). Esta zona se encuentra con un alto grado de intervención producto de las áreas de explotación minera del Mochuelo y de Usme, son la fuente principal de extracción de arenas, gravas, areniscas y arcillas, Cabe resaltar que la zona de gravilleras constituye a la fecha uno de los puntos álgidos en el manejo del río debido a que los pits de extracción minera resultaron inundados durante los eventos ocurridos en junio de 2002 y actualmente el río se encuentra ingresando a dos pits inundados para posteriormente retomar su cauce aguas abajo, en donde encuentra una estructura de control construida por la EAAB y CEMEX. Dentro de esta área se encuentra ubicado el Relleno Sanitario Doña Juana, en la localidad de Ciudad Bolívar, que comprende una extensión de 450 ha. Éste constituye un servicio urbano básico para la disposición final de residuos sólidos generados por Bogotá, (SAT)

Esta área posee una pendiente promedio del 3.00% aún considerada alta, lo cual garantiza un buen drenaje de la cuenca. Hasta este punto, el área de la cuenca aguas

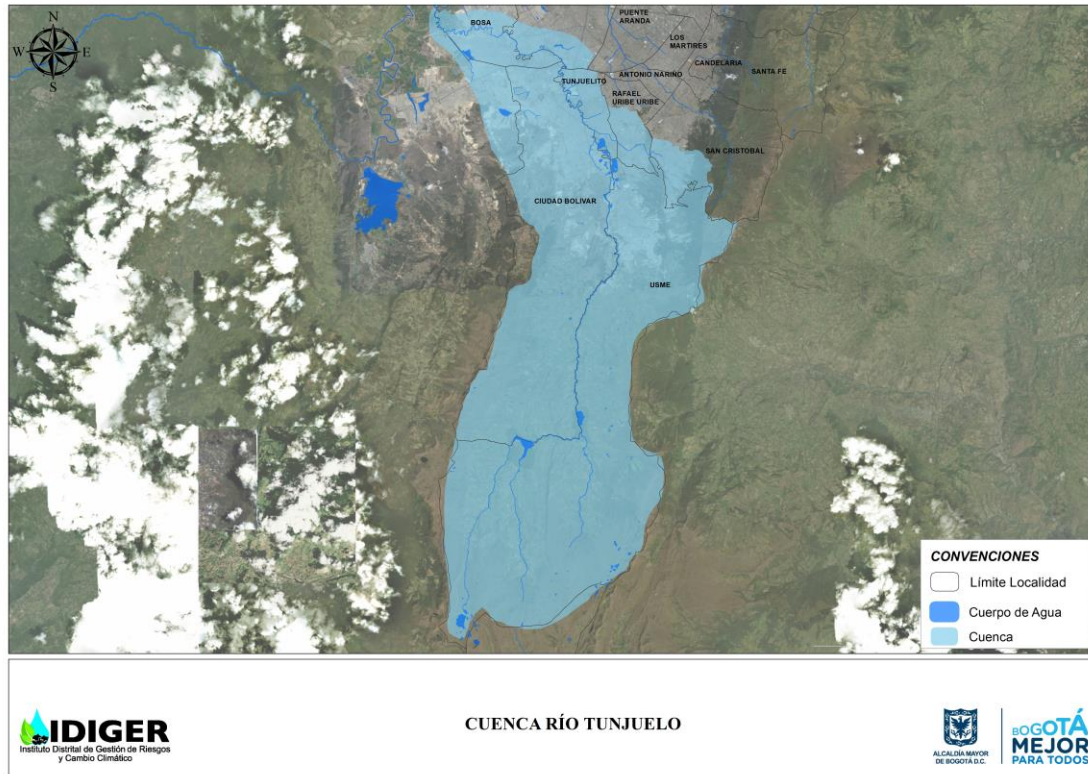
Página 46 de 306

arriba incluyendo la cuenca alta regulada por los embalses es de 267 km2 conservando el área tributaria la característica rural de la porción superior. (POMCA)

La cuenca baja es el área de la Cuenca del río Tunjuelo que abarca el perímetro urbano. Comprende desde la llamada Zona de Canteras hasta la desembocadura del río Tunjuelo, en el río Bogotá, Bogotá y posee una pendiente media del orden de 0,16%. En esta zona el cauce se torna definitivamente meándrico (con fuerte intervención antrópica), de lecho aluvial y con tendencia hacia la divagación lateral manifestada por paleocauces, meandros abandonados y lagunas semilunares, denominados Embalses 1, 2 y 3 (pondajes), con la función de amortiguar las crecientes del río. . La mayor proporción de esta Cuenca se encuentra poblada y aún dispone de áreas para la oferta de suelo urbanizable, se caracteriza por presentar extracción de agregados pétreos sobre la planicie aluvial del río Tunjuelo. (INGETEC, POMCA, SAT)

Sus aportes están dados por las descargas de cantarrana y la de ocho quebradas principales, afluentes en ambas márgenes del río y varias subcuencas de drenaje local que tributan al río sin tener un cauce definido. Las quebradas principales aguas abajo del sitio de presa de Cantarrana son: por la margen derecha, las quebradas Yomasa, Santa Librada, Chiguaza y La Fiscala; y por la margen izquierda, las quebradas Botello, Trompeta, Estrella y Limas (INGETEC).

Figura 5.7. Cuenca río Tunjuelo



Fuente: Proyecto POT

5.6 SUBCUENCA RIO TEUSACÁ

La red de drenaje superficial de la parte alta del río Teusacá lleva sus aguas al embalse de San Rafael, constituido por la presa El Tambor, localizada a una altitud de 2.720 msnm, donde parte de su caudal es almacenado para posterior tratamiento en la planta Wiesner y luego suministro a la ciudad de Bogotá. El cauce regulado del río continúa su curso hacia los municipios de La Calera, Sopó y Tocancipá, y en áreas de la jurisdicción de este último vierte sus aguas al río Bogotá, formando por tal motivo parte de la cuenca del río Magdalena.

El área total de la cuenca es de 359 km², correspondiendo el 86% a zona montañosa y el 14% a la zona plana donde se ubica el valle de Sopó, dedicado a actividades agropecuarias. La parte alta de la cuenca, hasta la presa El Tambor que forma el embalse de San Rafael, tiene un área de drenaje de 68 km².

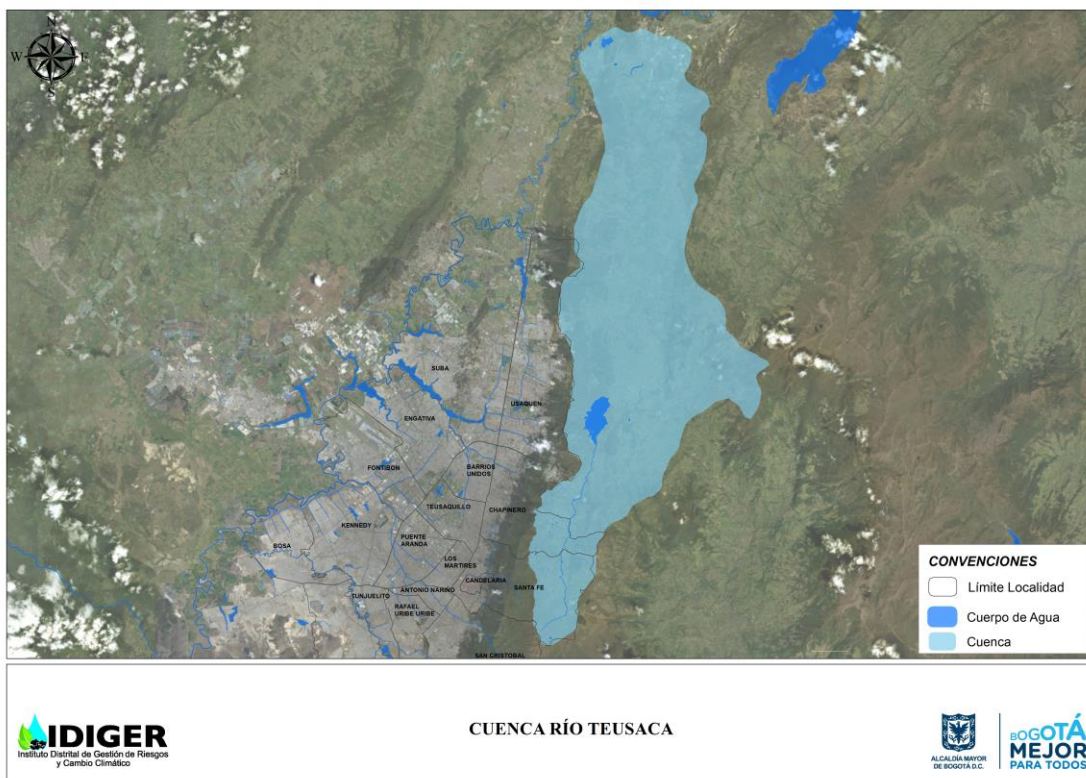
La cuenca en general es alargada y en su parte alta presenta altas pendientes, en la cuenca media se suaviza la pendiente, hasta el sitio de La Cabaña, para luego entrar con

Página 48 de 306

una muy baja pendiente en el valle de Sopó. La red de drenaje es densa y por lo tanto presenta una escorrentía rápida, lo cual dificulta el proceso de infiltración y recarga de aguas subterráneas.

El rendimiento hídrico total de la cuenca es cercano a los 10,0 Lts/km², considerado relativamente bajo, siendo el rendimiento de la parte alta hasta el sitio de presa de aproximadamente 20 Lts/km², debido a que las precipitaciones más altas se presentan en esta zona. Actualmente, la presa regula el 45% del caudal total de la subcuenca, siendo el área de drenaje hasta ese sitio de solo el 20% del área total (IDIGER, 2014).

Figura 5.8. Subcuenca río Teusacá



Fuente: Proyecto POT

5.7 CUENCA RÍO SUMAPAZ

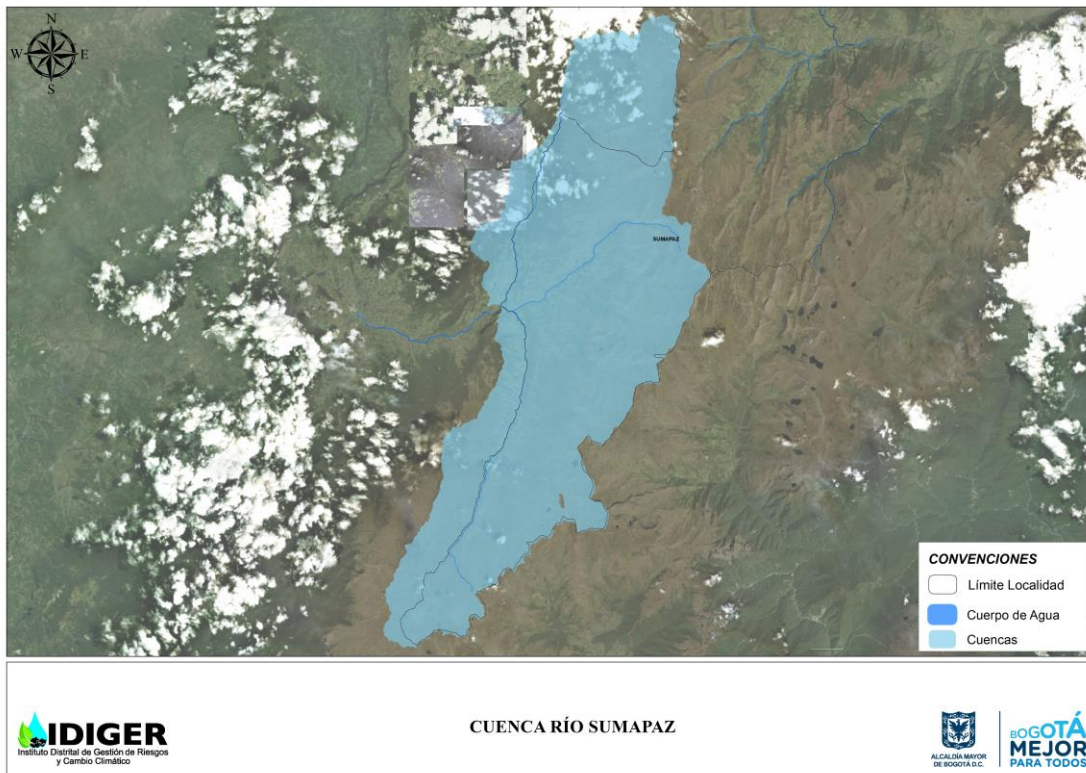
La cuenca alta del río Sumapaz, tributario directo del río Magdalena, se localiza al sur del Distrito Capital, la cual parcialmente forma parte del mismo y está conformada por la

Página 49 de 306

cabecera de los ríos San Juan y Pilar, que conforman el propio río Sumapaz, a partir de su confluencia. En sus cumbres se encuentra el páramo de Sumapaz, a una altura superior a los 4.100 msnm, donde nacen varias quebradas, como son Chorreras, El Tunal, Honda, Alcanta y El Trigo. La cuenca alta limita al oriente con la cuenca del río Blanco y al norte con la subcuenca del río Tunjuelo. Su desembocadura en el río Magdalena se encuentra cerca de la ciudad de Girardot, en el municipio de Ricaurte. El área de la cuenca es de 2.527 km², de la cual 425 km² (16,81%) le pertenecen al Distrito.

Su mayor importancia para el Distrito Capital radica en el hecho de que se constituye en una de las alternativas de ampliación del sistema de abastecimiento hídrico para la capital. El proyecto plantea captar sus aguas, sobre el flanco occidental, y se conducirían a la cuenca del río para ser almacenadas en un nuevo embalse localizado en esta cuenca y luego, por un sistema de gravedad, ser distribuidas a la ciudad, especialmente a la zona suroriental de la misma (IDIGER, 2014).

Figura 5.9. Cuenca río Sumapaz

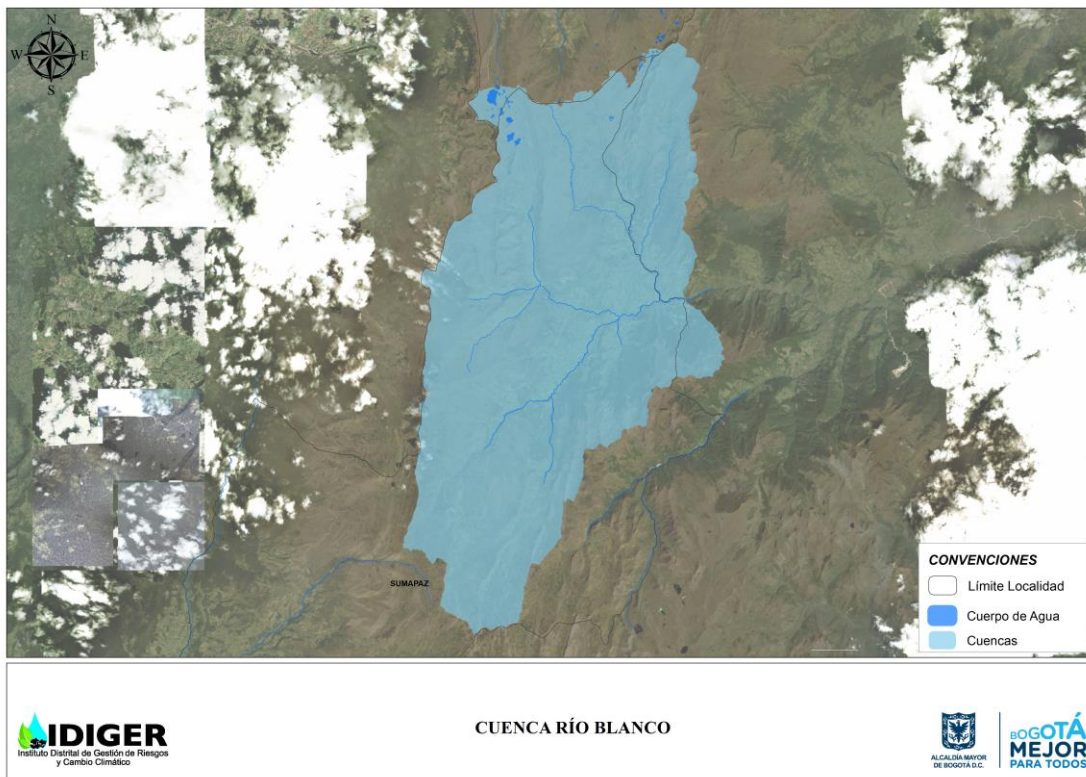


Fuente: Proyecto POT

5.8 CUENCA DEL RIO BLANCO

Se localiza en el suroccidente del Distrito Capital, en la localidad de Sumapaz, pertenece a la cuenca del río Orinoco y es tributario directo de río Negro. En sus cabeceras localizadas en el páramo de la Cuchilla, La Garza, Los Andes o Tembladerales, a una cota aproximada de 3.750 msnm, se encuentran las lagunas de La Garza y Negra, que se considera son los nacimientos de los ríos Santa Rosa, del río Chochal y Portezuela, afluente del río Tabaco. Su divisoria de aguas es limítrofe con la cuenca alta del río Tunjuelo, por el sur colinda con el Parque Nacional Natural Sumapaz y el cerro Rabanal, por el occidente con la línea divisoria de la cuenca del río Sumapaz y al oriente por el límite de la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR (IDIGER, 2014).

Figura 5.10. Cuenca río Blanco



Fuente: Proyecto POT

5.9 CANALES

Existen cuerpos de agua adicionales que conforman el sistema drenaje pluvial de la ciudad, como el caso del canal Cundinamarca y sus aferentes, que conforman la cuenca del Tintal, al suroccidente de la ciudad, donde dicha cuenca drena las aguas lluvias para un área cercana a los 4000 Ha, que forman parte de las localidades de Bosa, Kennedy y Fontibón.

El Canal Embalse Cundinamarca, se encuentra localizado Catastralmente entre el río Fucha y el río Tunjuelo, sobre el costado Oriental del río Bogotá y paralelo a la futura Avenida longitudinal de Occidente. Tiene una longitud de 8300 metros y una sección transversal de 64 metros de base. Así mismo el canal es receptor de las áreas de drenaje de aguas lluvias del Tintal Sur (1009 Ha), Tintal Central (1351 Ha), Tintal Norte (874 Ha) y parte de Fontibón (802 Ha). (EAB, 2010).

Adicionalmente el Canal Cundinamarca está provisto de una estructura de entrega, que va a la Estación Elevadora de Gibraltar, por medio de la cual se bombeará al río Bogotá. El canal tiene una capacidad de almacenamiento de 1350 m³ (EAB, 2010).

Dentro de los principales canales aferentes del canal Cundinamarca, se tiene al norte los canales Alsacia, Magdalena, Castilla y América. Hacia el la zona sur en límites con las localidades de Kennedy y Bosa, se tienen los Canales Tintal I o 38 Sur, Tintal II, Tintal III, Santa Isabel y Canal Tintal IV.

5.10 HUMEDALES

Los humedales de Bogotá hacen parte del más importante sistema de humedales del norte de los Andes. Sin embargo, el área original del sistema se ha reducido de 50.000 hectáreas a menos de 800 en menos de 40 años.

Los humedales son ecosistemas de gran valor natural y cultural, constituidos por un cuerpo de agua permanente o estacional de escasa profundidad, una zona que puede cubrirse por inundaciones periódicas y una franja de terreno no inundable. Estos ecosistemas están asociados a las cubetas y planos de desborde de los ríos (IDIGER, 2014).

Dentro de las principales funciones de los humedales se pueden mencionar las siguientes:

- Actúan como zonas reguladoras del exceso de agua en las épocas invernales.
- Albergan especies de fauna y flora endémicas y reciben aves migratorias.
- Proporcionan áreas para la recreación pasiva, la educación ambiental y la investigación científica.

Página 52 de 306

- Permiten el reciclaje de la materia orgánica y su reincorporación al ciclo de nutrientes.
- Los humedales que se encuentran en el Distrito Capital son ecosistemas de gran valor natural y cultural, corresponden con un cuerpo de agua permanente o estacional de escasa profundidad. En el área urbana del Distrito Capital se encuentran los siguientes humedales:

Los humedales que se encuentran en el Distrito Capital son ecosistemas de gran valor natural y cultural, corresponden con un cuerpo de agua permanente o estacional de escasa profundidad. En el área urbana del Distrito Capital, como se describe en la tabla 5.1, se encuentran los siguientes humedales:

Tabla 5.1. Humedales y otros cuerpos de agua del Distrito Capital

Humedales reconocidos en el Distrito Capital	Humedales no reconocidos en el Distrito Capital	Otros cuerpos de agua
Humedal Torca y Guaymaral	Humedal Separados Autopista Norte	Lago del Parque Simón Bolívar
Humedal La Conejera	Humedal Los Arrayanes (Borde Norte)	Lago del Jardín Botánico
Humedal Córdoba (Itzató)	Humedal del Colegio San Viator (Autopista Norte)	Refugio de la Tingua (UDCA)
Humedal Tibabuyes o Juan Amarillo	Humedal Chorrillos (Suba rural)	Lago Timiza
Humedal Jaboque	Humedal del Colegio San Jorge de Inglaterra (Suba)	Parque el Lago o de los novios
Humedal Santa María del Lago	Humedal Los Lagartos.	Lago Country Club
Humedal El Salitre	Humedal El Cortijo, Nuevo Salitre o Nuevo Tibabuyes (PTAR Salitre).	Parque Ciudad Montes
Humedal Capellanía	Humedal El Salitre - Greco	Parque Villa Alemana (Localidad de Usme)
Humedal Meandro del Say	Humedal Mamá Dominga (Universidad Nacional)	El Parque la Joya (Localidad de Ciudad Bolívar)
Humedal de Techo	Humedales del Aeropuerto El Dorado	---
Humedal El Burro	Humedal La Florida	
Humedal Techovita o La Vaca	Humedal "El Burrito" (Costado nor-occidental del humedal El Burro)	
---	Humedal Media Luna - Tingua Azul (Timiza)	
	Humedal La Libélula - Ubaguaya (Tunal)	



**ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.**

AMBIENTE
Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático

Humedales reconocidos en el Distrito Capital	Humedales no reconocidos en el Distrito Capital	Otros cuerpos de agua
	Humedal Chiguazuque o Campo Verde, Comprendido por La Isla, Potrerito y Campo Verde en la localidad de Bosa	

Fuente: Proyecto POT

6 ANTECEDENTES

Bogotá es la ciudad más poblada de Colombia con cerca de Siete Millones Ochocientos Sesenta habitantes en 2015 (ver Tabla 6.1), siendo esta junto con Medellín, Cali y Barranquilla las ciudades que concentran cerca del 28% de la población y casi el 70% del área construida de las capitales del país (Banco Mundial, 2012), catalogándola a la capital como la más productiva económicamente donde El Producto Interno Bruto (PIB), es cercano a US\$ 86.000 millones por encadenamiento, constituyendo la síntesis de la información macroeconómica de coyuntura de la ciudad como una de las influyentes con el 26% del PIB nacional (DANE, 2015). Lo anterior se ratifica con el octavo puesto entre las economías urbanas más grandes de Suramérica con un ingreso per cápita promedio de US\$ 10,000, localizándola en el puesto 82 de las 100 ciudades más grandes del mundo en términos del PIB per cápita. (BM – Eduardo et. Al, 2013), (Banco Mundial -ESP, 2012).

Tiene aproximadamente 300 km², de área urbana y una densidad de población de 3529 personas/km. La tasa de población ha aumentado debido a los conflictos sociales del país, lo cual genera elevados niveles de migración. Por ser la ciudad de mayor desarrollo y oportunidades económicas del país, presenta las mejores oportunidades de trabajo y servicios. (DIAN,2015); (Banco mundial, 2012), así mismo esto propicia una dinámica en el uso del suelo que fomenta la creación de grandes superficies impermeables típicas de las urbes, como resultado de una evolución orgánica de la ubicación de los asentamientos, los negocios y la industria, desordenada a partir de 1950 se ha traducido en el deterioro de la calidad del agua y la canalización de los ríos, la destrucción de los humedales y el crecimiento de barrios de bajos ingresos a lo largo de las zonas propensas a inundaciones. (Banco Mundial -ESP, 2012), sumadas a deficiencias técnicas de la construcción que aumenta la amenaza sísmica en diferentes zonas. Lo anterior permite a este momento que más de 450 zonas de laderas inestables sean ocupadas, y de forma paralela el crecimiento de la ciudad ha llevado al no cumplimiento de las rondas hidráulicas mínimas de los cuerpos de aguas superficiales (El artículo 78 del Decreto Distrital 190 de 2004), siendo estas invadidas con construcciones y rellenos productos del depósito de escombros, que alteraran la dinámica de los cauces; que a su vez reduce la infiltración del agua lluvia y generan una respuesta más rápida de la escorrentía, lo que

Página 54 de 306

lleva a menores tiempos de concentración y por consiguiente a un incremento a la amenaza de sufrir inundaciones, siendo uno de los desafíos que presenta, el control y manejo del agua, ya que el impacto sobre la población y la economía es considerables, (Castrillón Ocampo, 2014); (Banco Mundial, 2012); (Domínguez-Calle & Lozano-Báez, 2014). Como la sabana cuenta con una capacidad de drenaje baja en el valle lacustre, bajas pendientes y los regímenes de precipitación son afectados considerablemente por la incidencia de los fenómenos de la niña y el niño, permite que ese evento hidrometeorológico sea más recurrente. (BM – Eduardo et. Al, 2013); (Banco Mundial, 2012).

Tabla 6.1. Crecimiento de la población de Bogotá D.C.

Población	1951	1973	1985	1993	2005	2015
Bogotá	715.250	2.861.913	4.236.490	5.413.484	6.840.166	7.860.000

Fuente: DANE, 2005

Lo anterior concuerda con lo antes anotado del panorama de inundación de Bogotá los últimos 100 años, siendo uno de los municipios a nivel nacional con más alta población ubicada en zonas de mayor potencial de inundación, (Banco Mundial, 2012)., es por eso , que los eventos catastróficos, direccionan los esfuerzos al desarrollo de modelos frente a la evaluación de la amenaza y posterior gestión del riesgo con el fin de tener acciones que permitan remediar, atender o mitigar en cierta medida los factores de vulnerabilidad física y social, bien sea, mediante obras de encauzamiento, la generación de brigadas de mantenimiento de estructural y sistemas de alcantarillado y acueducto, con herramientas predictivas que faciliten los preparativos y respuesta ante las emergencias por inundación, anteponiendo conceptos técnicos dentro del Plan de Ordenamiento Territorial, permitiendo adoptar las respectivas medias de recuperación, acciones en caso de desastre y la preparación financiera de una forma más clara y directa. (BM – Eduardo et. Al, 2013); (Banco Mundial, 2012).

De acuerdo con las definiciones establecidas en la política de gestión del riesgo de desastres, Artículo 4 de la Ley 1523 de 2014, la amenaza es “el 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 en los bienes, la infraestructura, los medios de sustento, la prestación de servicios y los recursos ambientales.”¹

En general la amenaza de inundación está asociada con la presencia de caudales importantes que puedan generar situaciones en las cuales no pueden ser conducidos por

¹ COLOMBIA. Congreso de la República. Ley 1523 de 2012 (abril 24), Op. Cit., Artículo 4

los elementos estructurales de drenaje de la cuenca bien sean de origen natural o artificial, siendo los últimos propensas fallas estructurales de los sistemas de alcantarillado, rompimiento de embalses o fallas en jarillones de ríos, aunque no es muy frecuente.

Por lo anterior, la capital de Colombia se destaca por su actitud proactiva ante la gestión integral del riesgo (vulnerabilidad y amenaza) en un componente fundamental del desarrollo sostenible. concerniente a la generación de estudios frente amenaza a un evento potencialmente catastrófico como las inundaciones, orientados a reducir la vulnerabilidad de la ciudad frente a sucesos adversos, estimando una intensidad a la variable de estudio que refleje la severidad de la emergencia para poder cuantificar, medir, compara y para poder predecir qué ocurrirá dentro de unos rangos de confiabilidad del nivel de la lámina de agua, su velocidad en las zonas de tránsito de la creciente y así mismo cual es la altura de la lámina del evento detonante (precipitación) (Sánchez, 2005); (BM – Eduardo et. Al, 2013), desarrollando sus propios sistemas distritales o municipales de prevención atención de desastres, que integran a sus metodologías formatos y sistemas de generación de inventarios de desastres, forjando bases de datos interesantes que describen el tipo de evento, su frecuencia y distribución espacial, encaminados en describir la afectación sobre el ambiente, infraestructura y vidas humanas, que permiten en cierta medida generar un perfil para la definición de políticas de prevención, planes y acciones para la prevención y reducción de afectaciones por fenómenos naturales en general.

Por eso según Chacon et al, 2006, en el desarrollo de sus mapas de deslizamiento y sistemas de información geográfica, dan uso de este tipo de inventarios de desastres, como una herramienta de evaluación de la amenaza de fenómenos naturales y/o antrópicos en áreas de interés, donde las facilidades de almacenamiento de datos conciertos caracteres en servidores mediante internet, de forma efectiva rápida e inmediata, que recogen un conjunto de hechos, que permiten extraer patrones que describen un subconjunto de los datos (eventos de inundación), que pueden ser almacenados mediante formatos, encuestas y diagnósticos en revisiones de campo o mediante radio comunicación cada vez que se reporta un evento catastrófico, que mediante algoritmos de clasificación integran criterios para la depuración de bases de datos, que cumplan ciertas características, incluyendo o excluyendo los reportes. Los principales criterios para la depuración de bases de datos son:

- ✓ Eventos que hayan detonado afectaciones materiales, equivalentes a la pérdida total o parcial de un bien inmueble, vías públicas, sótanos, estructuras de redes de acueducto o alcantarillado.
- ✓ Pérdidas de vidas Humanas.
- ✓ Lesiones graves o simples en personas afectadas
- ✓ Evacuación de una o más familias.
- ✓ afectaciones ambientales en áreas mayores o iguales a una hectárea.
- ✓ Interrupción de un servicio público

Página 56 de 306

6.1 EVENTOS DE EMERGENCIA

Los anteriores pueden variar según el algoritmo de depuración y los criterios utilizados para la base de datos, donde dependiendo de la investigación y uso de los mismo se realizaría un proceso de extracción, preparación e interpretación de los datos para la de patrones válidos, nuevos, potencialmente útiles, y finalmente comprensibles de eventos de inundación y en general. Dentro de este documento, se trabajó con las siguientes bases de datos las cuales serán descritas posteriormente:

- **EM-DAT** que por su sigla en inglés se llama, Emergency Disaster Database de la Universidad Católica de Louvain (www.em-dat.net), se convierte en una base de datos Internacional sobre Desastres muy reconocida, que cuya labor inició en 1988, el Centro para la Investigación sobre la Epidemiología de los Desastres (CRED), puso en marcha la base de datos de eventos de emergencia (EM-DAT). EM-DAT fue creado con el apoyo inicial de la Organización Mundial de la Salud (OMS) y el Gobierno belga, con el objetivo de generar una base de datos para servir a los propósitos de la acción humanitaria a nivel nacional e internacional, para la toma de decisiones para la preparación para desastres y vulnerabilidad de las poblaciones afectadas, la cual contiene datos básicos de más de 22.000 desastres masivos en el mundo desde 1900 hasta la actualidad. Dicha base recopila aquellos eventos que han generado más de 10 víctimas mortales y 110 afectados, o eventos que hayan requerido ayuda internacional de estado de emergencia.
- **DesInventar**, (<http://www.desinventar.org/es/desinventar.html>), es una herramienta conceptual y metodológica para la construcción de bases de datos de pérdidas, daños o efectos ocasionados por emergencias o desastres. Incluye una metodología de definiciones y ayudas para el manejo de datos, con una estructura flexible y programa de alimentación, que permite la consulta bajo criterios de selección presentes en diversos consolidados. Se implementó en 1994 como un marco metodológico y conceptual para estimular y fortalecer el estudio social de la problemática del riesgo y definir, nuevas formas de intervención y de gestión en el campo de la prevención y mitigación del riesgo, sobre desastres de pequeños, medianos y grandes impactos, mediante los reportes de nueve instituciones en 9 países agrupados en la Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina (LA RED).
- **SIRE**, (<http://www.sire.gov.co/sire>), es un sistema de información que apoya la administración de la información relacionada con el proceso de gestión de riesgo y atención de emergencias de Bogotá, siendo este un instrumento que permite recopilar, integrar, producir y divulgar información técnica y de coordinación a las entidades del Sistema Distrital de Prevención y Atención de Emergencias (SDPAE), fundado en 1998, entre el Fondo de Prevención y Atención de

Emergencias - FOPAE y el INGEOMINAS, que facilita la inclusión del riesgo en la cultura a través de la información disponible y los servicios en línea dirigidos a la comunidad, tales como el geo portal. La información digital consignada en el SIRE se presenta en diversidad de formatos (mapas, texto, imágenes, tablas, videos, etc.), permitiendo al usuario el ingreso y manejo sin necesidad de programas o equipos especializados. Este almacena información documentos tales como estudios técnicos, diagnósticos técnicos, conceptos técnicos, reportes de la administración de emergencias, legislación, mapas estáticos, geo información básica y temática que permiten la creación de mapas dinámicos y generación de reportes, cuyo principal criterio es el almacenamiento de información referente a todo tipo de eventos que hayan generado emergencia dentro del distrito capital, generan así una base de datos robusta rica en información para la toma de decisiones.

- **La Unidad Nacional del Gestión del Riesgo y del Desastre (NGRD)**, fue creada a partir de la Ley 1523 de 2012 por sanción presidencial, es el conjunto de entidades nacionales del orden público, privado y comunitario que, articuladas con las políticas, normas y recursos, tiene como objetivo llevar a cabo el proceso social de la gestión del riesgo con el propósito de ofrecer protección a la población en todo el territorio nacional en busca de mejorar la calidad de vida, la seguridad y el bienestar de todas las comunidades colombianas. entendidos como: Conocimiento del Riesgo, Reducción del Riesgo y Manejo de Desastres, esta almacena mediante reportes el número de eventos, ubicación afectados y enseres requeridos por la población en caso de una emergencia.

Ante las dificultades que implica llevar a cabo una evaluación detallada de la amenaza y el riesgo debido a inundaciones, se recurre a utilizar bases de datos que contengan los diferentes reportes, bien sea por vistas técnicas o radio comunicación, con el fin de caracterizar la amenaza mediante metodologías de inventario.

Estas bases de datos recopilan eventos, tales como movimientos en masa, inundaciones y eventos asociados a avenidas torrenciales, que han sido recurrentes en la sabana de Bogotá, donde se centrará la atención principalmente a los eventos de inundación describiendo los altos índices de vulnerabilidad a este evento debido a la desordenada ocupación de las laderas y rondas de ríos, humedales y quebradas.

Para lo anterior, estas bases de datos organizan y almacenan la información, desde el punto de vista administrativo de la ciudad de Bogotá, permitiendo tener diferentes resoluciones espaciales a la hora de generar las interpretaciones de la amenaza en el espacio. El distrito reporta en cuatro escalas espaciales que van desde las más gruesas a las más refinadas adjudicando el reporte como se muestra a continuación:

- Unidades descentralizadas, denominadas localidades (ver Figura 6.2), donde el distrito se compone de 20.
- Unidades de Planeación Zonal (UPZ) (ver Fuente: Proyecto POT
- Figura 6.3), como áreas urbanas más pequeñas que las localidades y más grandes que el barrio y de las cuales se tienen cerca de 117.
- Barrios, que son las Unidades de división administrativa más pequeñas del distrito capital, y contienen edificaciones pobladas que componen la ciudad, son cerca de cerca de 6552 barrios.
- Coordenadas de reporte del evento que permiten tener la distribución e incidencia de un fenómeno de inundación en el espacio y tiempo.

Cabe decir que en dichas divisiones administrativas es donde el Sistema Distrital para la Prevención y Atención de Emergencias (SDPAE), genera las políticas, normas, recursos, procedimientos y metodologías, organizadas con el fin de contribuir a la reducción de pérdidas humanas, económicas y sociales ocasionadas por fenómenos de origen natural o humano en el distrito. (SDA, 2016).

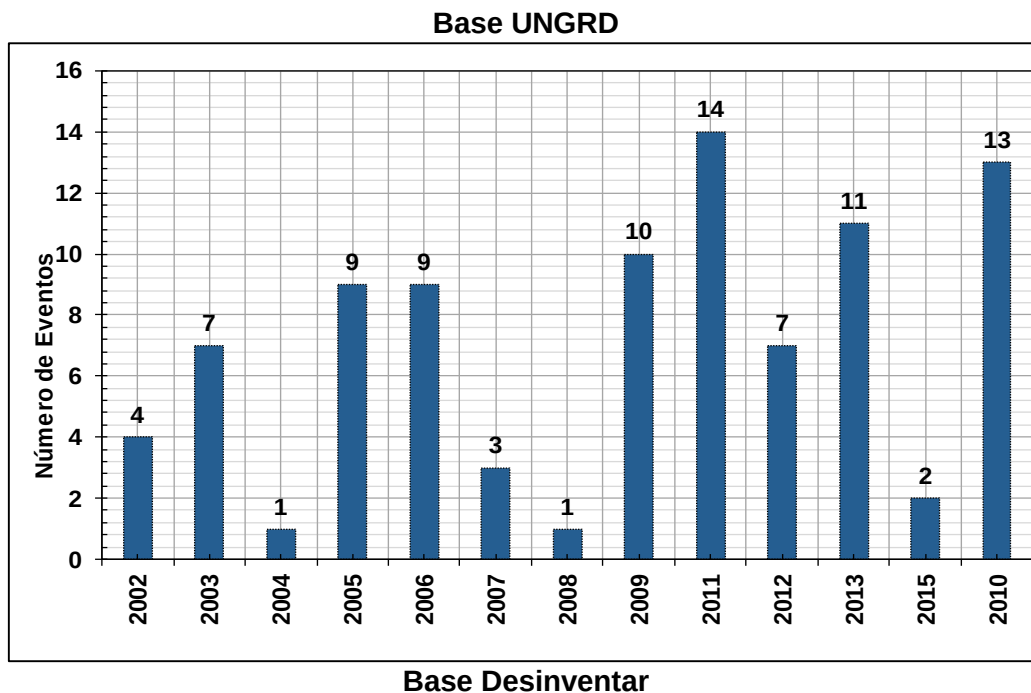
Es menester dejar en claro que pese haber una relación entre bases de datos como Desinventar, NGRD y EM-DAT, durante el período comprendido entre los años 2002 y 2015, la cantidad de eventos que se pueden extraer es baja debido a los criterios de selección de los eventos del algoritmo de cada una, al rango de acción y a bases desactualizadas. Podemos evidenciar que un total de 810 eventos de inundación en la base de datos Desinventar, 91 en NGRD y 124 reportes que tiene que ver con eventos climáticos e hidráulicos asociados a inundaciones a nivel departamental. Entretanto EM-DAT reporta el menor número con un total de 3 eventos a nivel Distrital ya que su base de datos se centra en eventos catastróficos ya que dichos sucesos reportan más 10 personas fallecidas, con pérdidas materiales cuantiosas, (ver Figura 6.1).

En la Figura 6.1, se observa que el comportamiento de la base de datos de Desinventar, tiene una estrecha relación con el comportamiento y comparten eventos con SIRE, primordialmente se debe, a un mismo uso de las redes primarias de retro alimentación de las bases (reportes, informes, radio comunicaciones, etc.), cuya diferencia se centra en los juicios de selección de nuevos registros, ya que en el SIRE, dentro de su admisión no tiene un criterio de depuración lógico como se mencionó al inicio de este capítulo, a diferencia de DesInventar; esto podría permitir seleccionar los eventos más críticos a nivel Bogotá, sin entrar en redundancia de información, pero la desventaja de esta base es caza ya que al no reportar las coordenadas de cada emergencia, se pierde resolución y la tendencia del comportamiento del evento en el espacio, centrando los reporte al centroide de cada barrio, UPZ o Localidad. Por otro lado, SIRE al ser una base más robusta y con mayor número de años contenidos, tiene en cuenta la inercia del evento, al calcular la coordenada plana más cercana a cada emergencia. Al no tener una resolución y un número elevados de reportes que permita caracterizar el problema las bases de datos EMDAT y NGRD, no podrían usarse para el análisis, pero si denotan que su

información a escalas mayores como departamentales y nacionales permitirían generar un perfil del comportamiento de un evento en específico pero que según los requerimientos del Decreto 1807 de 2014 (compilado por el Decreto 1077 de 2015 o Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio).

Si nos centramos en las primeras bases, se ve un comportamiento marcado en el incremento de eventos entre los años 2002 a 2005, con valores que van 815 reportes para SIRE y 537 para Desinventar equivalente a un 5.08% y un 66.30% de la totalidad, mientras que para el periodo 2010 a 2011 los incidentes por inundación fueron de 173 y 95 respectivamente, con porcentajes de 34.24% y 11.73%, acorde a periodos invernales.

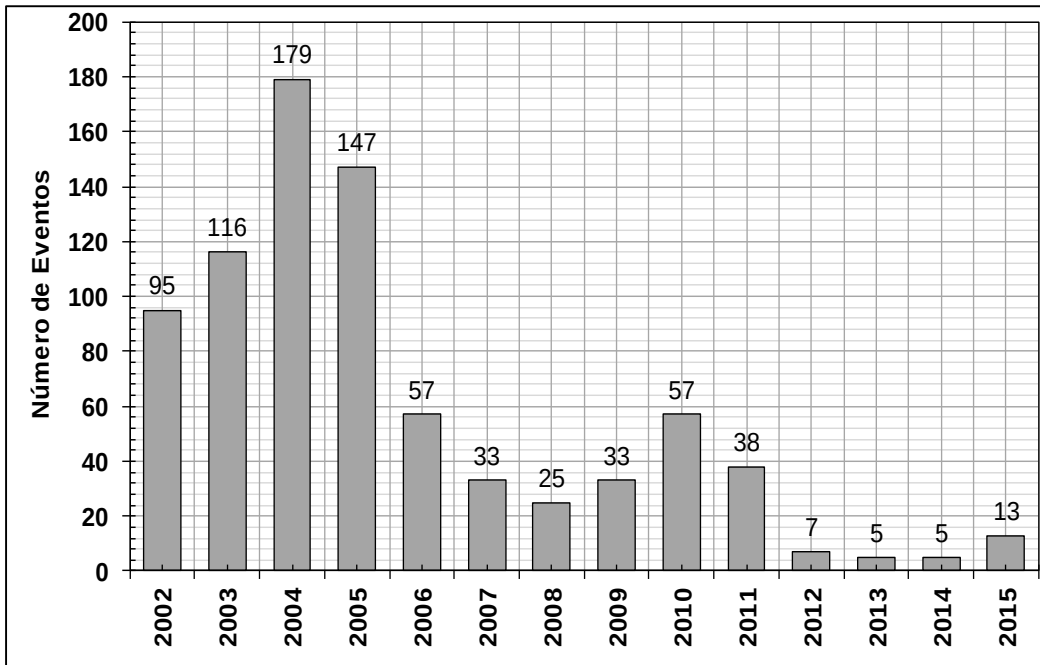
Figura 6.1. Número de eventos de inundación por base de datos



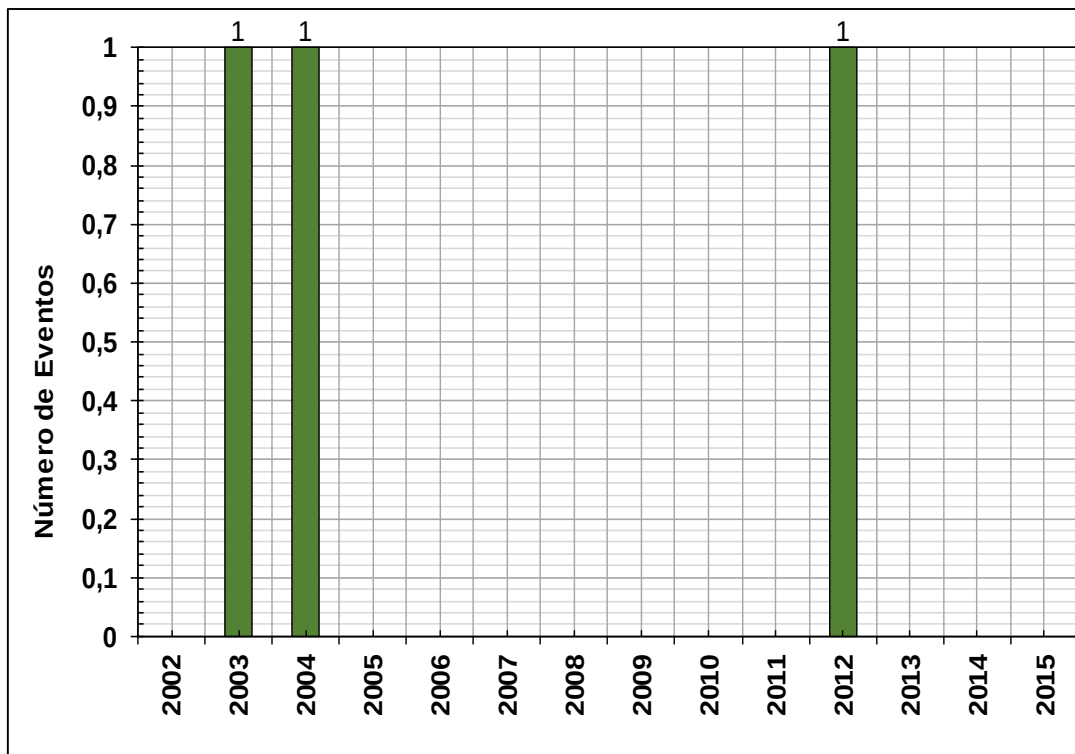


ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.

AMBIENTE
Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático



Base EMDAT



Fuente: Proyecto POT

Según lo anterior, el inventario de eventos por inundaciones de diferente tipo del distrito tiene reportes desde el año 2001 al año 2016, si bien DesInventar describe los eventos a cierta resolución su densidad y distribución no son las apropiadas, pero pese a ese tiene información interesante en cuanto pérdidas económicas que serán tomados para análisis posteriores dentro de este documento. Sin embargo, la base de datos de SIRE, que almacena la información y obtiene las coordenadas del mismo mediante su dirección, permite establecer una nube de puntos distribuidos en el espacio y tiempo, que permiten evidenciar las mayores concentraciones en cada una de las Unidades Descentralizadas (localidades) o Unidades de Planeación Zonal (UPZ). Dando como resultado un total de 16034 reportes en una ventana temporal de análisis de 16 años en total. La información contenida en esta base tiene un total de 10 columnas las cuales se relacionan a continuación:

- **ID:** Es el contador del número de eventos contenidos en la base de datos
- **Bitácora:** Almacena la fecha (día/mes/año) del reporte generado por encharcamiento
- **Año:** relaciona el año en que se generó el reporte por encharcamiento en el Distrito Capital
- **Evento:** Almacena el tipo de fenómeno reportado a la base de datos, clasificado según los criterios de selección del algoritmo y la información de ingreso. Para este caso solo se toman eventos por encharcamiento.
- **Localidad:** hace referencia a la Unidades Descentralizadas del Distrito Capital, según el acuerdo 8 de 1977, Acuerdo 14 de 1983, Acuerdo 9 de 1986, Acuerdo 15 de 1993 y Acuerdo 117 de 2003.
- **UPZ:** Las Unidades de Planeamiento Zonal son una subdivisión urbana de Bogotá, capital de Colombia. Su área es menor a la de las localidades, pero puede agrupar varios barrios en sí.
- **Barrio:** Son las Unidades de división administrativa más pequeñas del distrito capital, y contienen edificaciones pobladas que componen una ciudad o distrito.
- **Dirección:** Hace la referencia de la nomenclatura urbana como elemento fundamental de orden y planeación de la ciudad, que facilita la ubicación de los predios y vías urbanas a partir la aplicación del modelo de ejes estructurantes de nomenclatura vial que reorientan y facilitan la asignación de nomenclatura al contexto de la ciudad. Contiene la nomenclatura aproximada de cada uno de los reportes generados y reportados a la base de datos
- **X y Y:** Contiene las coordenadas planas que resultan de proyectar la superficie del elipsoide sobre un plano. Los puntos de cada evento proyectado son designados por la coordenada X o Norte y la coordenada Y o Este, medidas sobre dos ejes perpendiculares, trazados a partir de un origen definido convencionalmente de distintas maneras, según sea el sistema de proyección elegido. Corresponden a la localización exacta de cada reporte por encharcamiento generado en el Distrito Capital.

Página 62 de 306

Dicha información, por ser producto de varias fuentes que la retroalimentan, presenta ausencia de datos referente al barrio y localidad al que perteneciente el reporte generado (ver figura 6.4), teniendo un total de 1551 eventos equivalente al 9.67 % del total de eventos que no podían relacionarse, generando un sesgo a la hora de realizar un análisis estadístico. Para solucionar dicha falencia se dio uso del shape de Barrios de la ciudad de Bogotá, contenido dentro de la geodatabase facilitada por la SDP, permitiendo complementar la información entre archivos.

Para el análisis eventos se hace un reporte general mediante la base de datos descrita, principalmente a la temática de inundaciones, lo cual permite visualizar de forma más acertada la distribución de los eventos en el tiempo, bajo la hipótesis de que, en cada uno de estos períodos, las condiciones en las unidades de análisis han permanecido constantes, tales como las facilidades para el acceso a la información, el aumento en el número de medios escritos, entre otros. Cabe mencionar que dentro eso lapsos de tiempo existen variaciones que representan datos importantes para investigaciones futuras, como son los picos reportados en la ola invernal del de los años 2010 a 2011 producto del fenómeno de la niña de ese periodo.

Tabla 6.2. Tipos de emergencias en Bogotá desde 2002 a 2015

Tipo de eventos	Total	Total
Daño en redes de servicio públicos alcantarillado	713	4.45%
Daño en Redes de Servicios Públicos	547	3.41%
Encharcamiento	8169	50.94%
Granizada	13	0.08%
Inundación	6485	40.44%
Inundación - Encharcamiento (Lámina de agua menor a 30 cms)	12	0.07%
Inundación - Inundación (Lámina de agua mayor a 30 cms)	4	0.02%
Inundación - Represamiento de Cauce	11	0.07%
Represamiento de cauce	81	0.51%
Total, por tipo de eventos	16035	100%

Fuente: Proyecto POT

Porcentualmente, de la tabla 6.2 se puede apreciar, que los encharcamientos representan el fenómeno de mayor recurrencia con un (50.94%), seguido por los eventos de inundación con un (40.44%), estos últimos relacionados a las inundaciones producto de desbordamientos de cauces y estructuras hidráulicas que transportan caudales perennes, cabe mencionar que hay un total de 81 reportes relacionados con represamientos de cauce que equivalen a un (0.51%), los cuales estarían relacionadas a inundaciones lentas como rápidas, cuando el transporte de materiales pétreos y basuras son arrastrados hasta zonas con recirculación o de emplazamientos de estructuras que hacen perder la capacidad hidráulica de la sección de falla; los eventos de Inundación - Encharcamiento



**ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.**

AMBIENTE
Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático

(Lámina de agua menor a 30 cms), Inundación - Inundación (Lámina de agua mayor a 30 cms), juntos suman (0.09%) pero son eventos que se relacionan con inundaciones lentas, pero en donde se quiere diferenciar la magnitud de los mismos mediante el impacto de la altura de la lámina de agua, la bajo número de reportes hace referencia a la dificultad y variación de criterios a la hora de alimentar la base de datos que no permiten cuantificar la altura, generando una pérdida de información importante para el análisis. Por otro lado, las granizadas son eventos esporádicos que ocurren en la capital, pero de alto impacto, ya que las redes de alcantarillado no están diseñadas para atenderlos, generando colmataciones temporales acusa de ese hidrometeoro que provoca encharcamiento sobre todo en zonas con topografía conca, dicho evento tiene un total de 13 reportes, equivalente a un (0.08%).

En cuanto a los reportes por inundaciones producto de fallas estructurales como desempates o fracturas, sub-dimensionamiento de redes de alcantarillado o disposición a emisarios incorrecta (reflujo), colmatación por basuras, mal diseño de drenaje de vías, entre otros, son eventos que producen anegación de un terreno dado, pero al hacer parte de una cuenca urbana y zonas intervenidas son asociados a más a fenómenos de encharcamiento, asociados a la Genesis de problema, donde, la base de datos relaciona un total de 1260 eventos siendo un 7.81% del global reportado. Si bien la base de datos discrimina los sucesos en varios tipos de inundaciones dadas la, magnitud, tipo de detonante y Genesis, es importante aclarar que dicho fenómeno por inundación obedece a dos tipos, encharcamientos e inundación lenta por desbordamiento, dando un total de 9429 eventos (58.80%) relacionados a encharcamiento, 6593 (41.12%) a inundaciones y 13 eventos a granizadas (0.08%). Así, de cada 100 eventos que se presentan en la capital, aproximadamente entre 59 son generados por encharcamiento, 40 para inundaciones y un evento podría relacionarse a fallas por granizadas, lo que refleja la estrecha relación entre las condiciones geográficas e hidrometeorológicas de la zona. Con respecto al tipo de amenaza más frecuente se observa que el número de eventos del orden 4, se destaca por ser un fenómeno que se genera primordialmente por las actividades antrópicas como el alto número de industrias y las malas prácticas de la población en los cerros orientales.



GP-CER453497



CO-SC-CER453496



CO-SC-CER453496

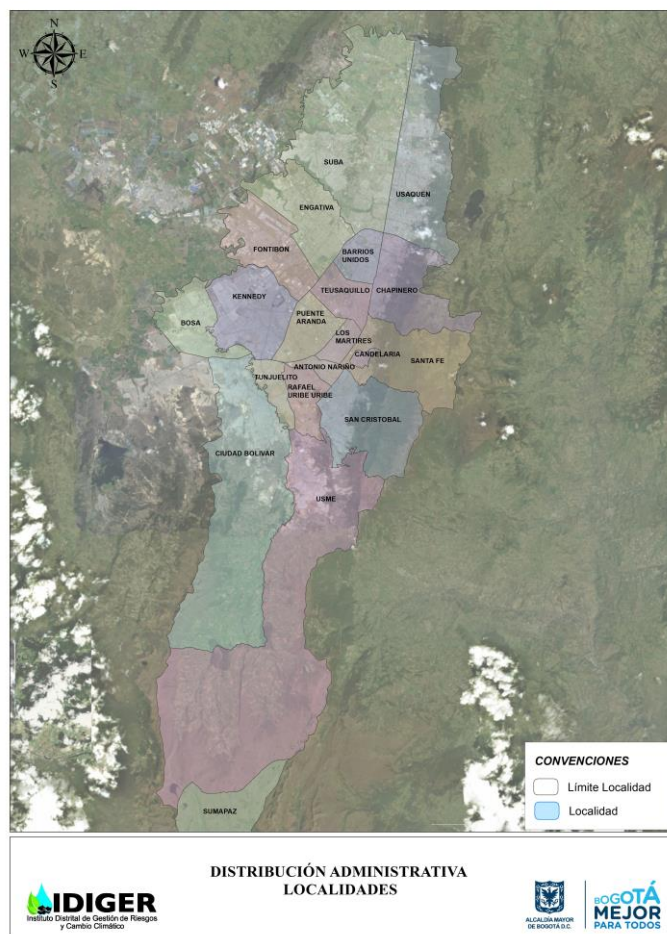


CO-SA-CER366134

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

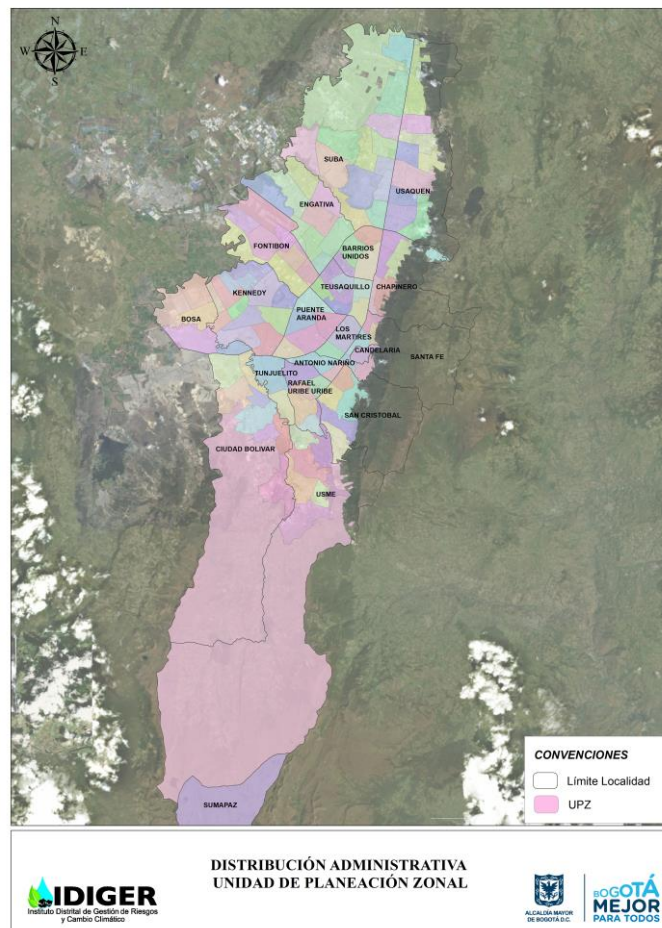
Diseño de políticas para el proceso de Coordinación del Sistema Distrital de Gestión del Riesgo y el Cambio Climático, gestión del conocimiento y análisis de los riesgos de desastres y efectos del cambio climático, gestión para el reasentamiento de la población en alto riesgo, diseño y gestión de la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

Figura 6.2. Distribución administrativa de la ciudad en localidades



Fuente: Proyecto POT

Figura 6.3. Distribución administrativa de la ciudad en Unidades Planeación Zonal



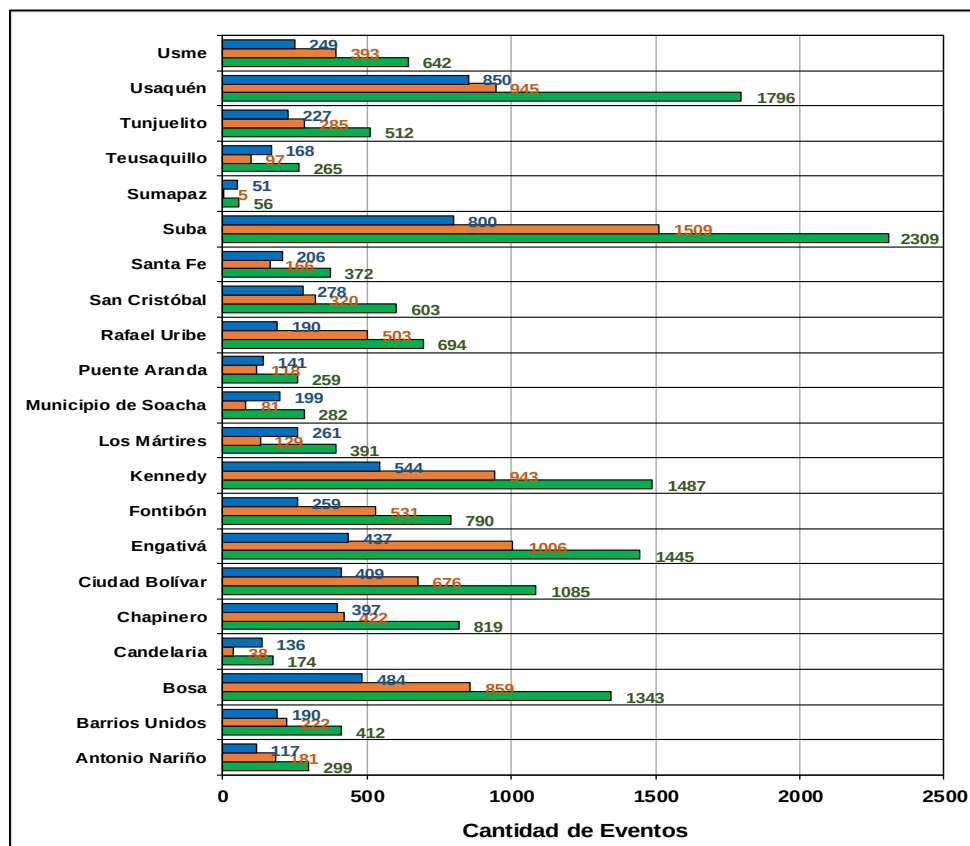
Fuente: Proyecto POT

A nivel de unidades descentralizadas o localidades (ver figuras 6.2 y 6.3), Suba es la que mayor número de reportes totales presenta, del orden de 2309 registros equivalente a un 14.40 % seguido de Usaquén con 1796 registros, que representa 11.20 %, por otro lado, Kennedy y Engativá presenta magnitudes elevadas con 1487 y 1445, con un total porcentual de 9.27 % y 9.01% respectivamente los cuales se localizan en mayor densidad a hacia los barrios de baja pendiente y cercanos a cauces. Del mismo modo, Ciudad Bolívar, Chapinero, Fontibón, Rafael Uribe, San Cristóbal, Tunjuelito y Usme, presenta valores de con 1085, 819, 1487, 694, 603, 512 y 642 reportes, que representan 6.77%, 5.11%, 4.93%, 4.33%, 3.76%, 3.19% y 4.00%, respectivamente, las demás localidades tiene registros entre 56 a 412 reportes cada una. Dichas cifras evidencian la estrecha relación entre los detonantes, desarrollo antrópico y precipitación ya que este último según el IDEAM en los últimos 7 años las precipitaciones en el distrito han superado los picos máximos históricos registrados, incluyendo las precipitaciones generadas en el mes

Página 66 de 306

de mayo del año 2017; y cuyo comportamiento tiende ir en aumento del orden del 10 % al 12% un horizonte hacia 50 años y un 30 % hacia la zona norte.

Figura 6.4. Número de reportes de inundación desde 2002 a 2015



Fuente: Proyecto POT

Lo anterior redundaría en problemas de proyección de los volúmenes a atender por las redes hidráulicas ante eventos extremos, de las redes actualmente implantadas, esta teoría se sustenta por los elevados reportes por encharcamiento en el distrito, con cifras importantes de 5187 eventos en el año 2011, 3357 en el año 2012 y 1167 en 2013, tomando como referencia 11 años atrás desde 2016, el rango de reporte exceptuando los años ya mencionados es de 292 hasta 996 reportes por algún tipo de inundación, dejando un promedio de 589 eventos anuales, es decir que se podría presentar 59 reportes por año, a lo largo del distrito capital, dichos aumentos en eventos extremos van de la mano con la impermeabilización de la ciudad de Bogotá por habilitación de zonas de expansión para nuevos barrios, ocasionando un incremento de los picos a transitar y reducen los tiempos de concentración desde los cerros orientales al río Bogotá, provocando a su paso encharcamientos e inundaciones en las subcuencas principales del río Bogotá.

Si centramos el análisis netamente a los eventos de inundación, podemos observar que son menores en promedio un 59.89% con respecto a los eventos de encharcamiento para las localidades Antonio Nariño, Barrios Unidos, Bosa, Chapinero, Ciudad Bolívar, Engativá, Fontibón, Kennedy, Rafael Uribe, San Cristóbal, Suba, Tunjuelito, Usaquén y Usme, donde los valores más elevados de esas localidades porcentualmente son de 46.12%, para la localidad de Barrios Unidos, de 48.47% para Chapinero, 46.49% para San Cristóbal y 47.35% para Usaquén, las otras localidades presentan valores menores a 40.00%, lo que muestra una susceptibilidad a encharcamiento de las zonas, pero si bien la tendencia es presentar encharcamientos, los criterios de selección y llenado de estas bases no permiten discriminar de forma más certera y concreta a que fenómeno nos estamos refiriendo debido, puesto que los porcentajes son semejantes ya que ambos eventos tienen una distribución cercana al 50.00% cada uno. Consecuentemente la base de datos también nos muestra que localidades como Engativá, Fontibón, Kennedy y Rafael Uribe son propensos a anegación por encharcamiento.

Paralelamente a esto, localidades como la Candelaria, Los Mártires, Municipio de Soacha, Puente Aranda, Santa Fe, Sumapaz y Teusaquillo tiene una incidencia elevada respecto a inundaciones ya que los porcentajes son del orden del 78.16%, 66.92%, 71.07%, 54.44%, 55.38%, 91.07% y 63.40%, respectivamente, indicando falencias en la capacidad hidráulica de sus redes bien sea naturales o artificiales (Canales), sobre todo en periodos de invernales intensos.

Las inundaciones, se relacionan a múltiples eventos, correspondientes a tantas unidades geográficas como éste afecte ya que pueden afectar diferentes barrios o sectores durante todo su recorrido, mientras el fenómeno natural es una inundación, el número de eventos registrados es igual al número de sectores o barrios que afecte dicho fenómeno. La base de datos registra, entonces, varios eventos asociados al mismo fenómeno natural, (Aristizábal y Gómez, 2007), Aquí tiene cabida la base de datos de EMDAT, la cual relaciona las 3 catástrofes a eventos conjugados donde por ejemplo las fuertes precipitaciones generan desbordamientos en las riberas de los cauces y a su vez deslizamientos en las laderas más susceptibles a estas cadenas de eventos.

No obstante, estos sucesos pueden tener diferentes detonantes atribuibles a lluvias persistentes, fallas de estructuras y/o redes, errores humanos, malas prácticas en los manejos de desechos y escombros, capacidades hidráulicas insuficientes, entre otros, de esto va depender la clasificación del evento, lo cual solo es posible la base de datos de DesInventar, ya que las otras no discriminan de forma clara esto, el primero clasifican la inundación en un grupo general y otros tres asociados a encharcamientos con láminas de aguas menores y mayores a 30 cm y desbordamiento por cauce, dado al volumen de datos que se maneja y su retroalimentación esta tiende a asociar el reporte al grupo general de inundación, esto deja ver que encharcamiento con láminas de agua menores a 30 cm, solo tiene 5 sucesos desde el 2013 a 2015 mientras que laminas mayores a 30 cm cuenta con 3 en el mismo periodo, entre el 2011 a 2015 existen 8 reportes por

Página 68 de 306

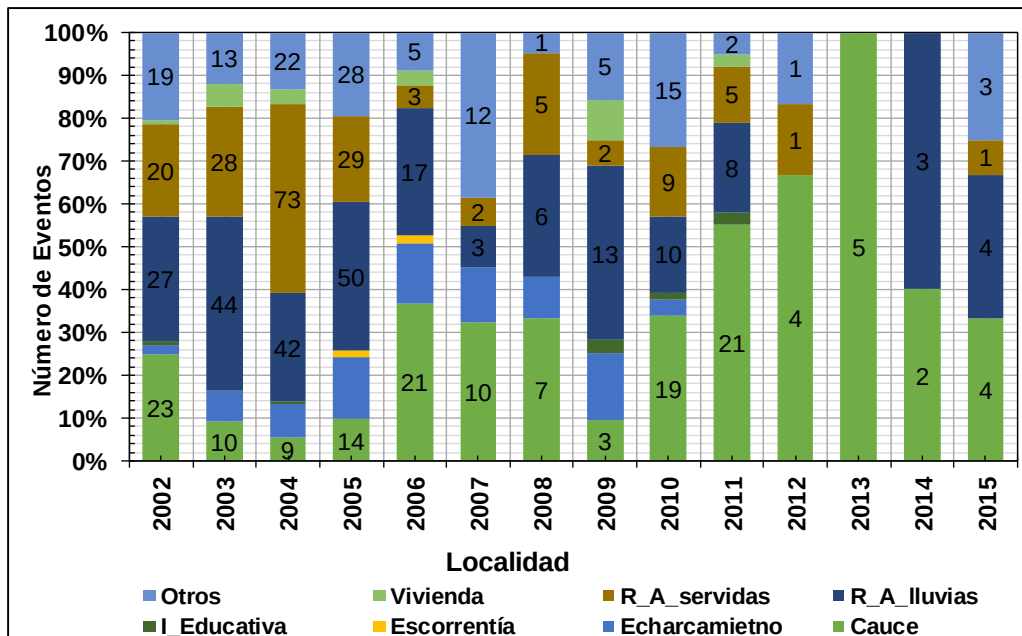
desbordamiento de cauce, dejando ver que el criterio de selección no está discriminado de una forma más detallada.

Partiendo de la similitud de fuente y a la depuración de la información, la base de datos de Desinventar fue evaluada de forma tal que dejara ver, cuales eventos de inundación podrían estar asociados a desbordamientos de cauce y/o estructuras hidráulicas y cuales estarían relacionadas a fallas de la red de acueducto y alcantarillado, ya que contiene la descripción del evento en crudo, es decir cómo se reportó por radio teléfono. Con base en lo anterior, se asoció cerca de 152 novedades desbordamiento de canales, quebradas, ríos, alcantarillas de cajón y humedales, a continuación, se hace un listado de los principales cuerpos de agua identificados:

- ✓ Humedal Juan amarillo, producto de un represamiento en las estructuras hidráulicas
- ✓ Humedal Guaymaral a la entrega del río Bogotá con niveles entre 30 a 150 cm
- ✓ Varias fallas en diferentes jarillones con cerca de 4 reportes en las quebradas Chiguaza en puentes, río Tunjuelito, río Bogotá y Humedal Jaboque y fallas en los jarillones en el parque de la florida.
- ✓ Terraplén de la quebrada Chiguaza y bancada
- ✓ Desbordamientos en las quebradas, Limas, Chiguaza, Morales, Nutria, -carbonera, Tibanica, Yomasa, San Isidro, Varejones, Peñas gordas, Santa Librada, Olla del Ramo, San Miguel, San Cristóbal, Manzanares, Lazas, Santa, Santa Librada y seis reportes de quebradas sin nombre con deslizamientos asociados, donde las quebradas Limas, Chiguaza, Yomasa, Santa Librada, reportan un mayor número de desbordamientos.
- ✓ En cuanto a desbordamientos de ríos se evidencia eventos en Tunjuelito, La regadera, Pinchoza, Bogotá y Fucha, cuyos principales problemas se originan por pérdida de capacidad hidráulica, colmatación por basuras, fallas en los jarillones perimetrales y en las confluencias de los cauces, cuyo principal detonante son las lluvias persistentes.
- ✓ Canal Jaboque, Maranta, Córdoba, Torca y cerca de 9 reportes de canales sin identificar con desbordamientos producto de colmatación en los pasos de las alcantarillas de cajón y circulares

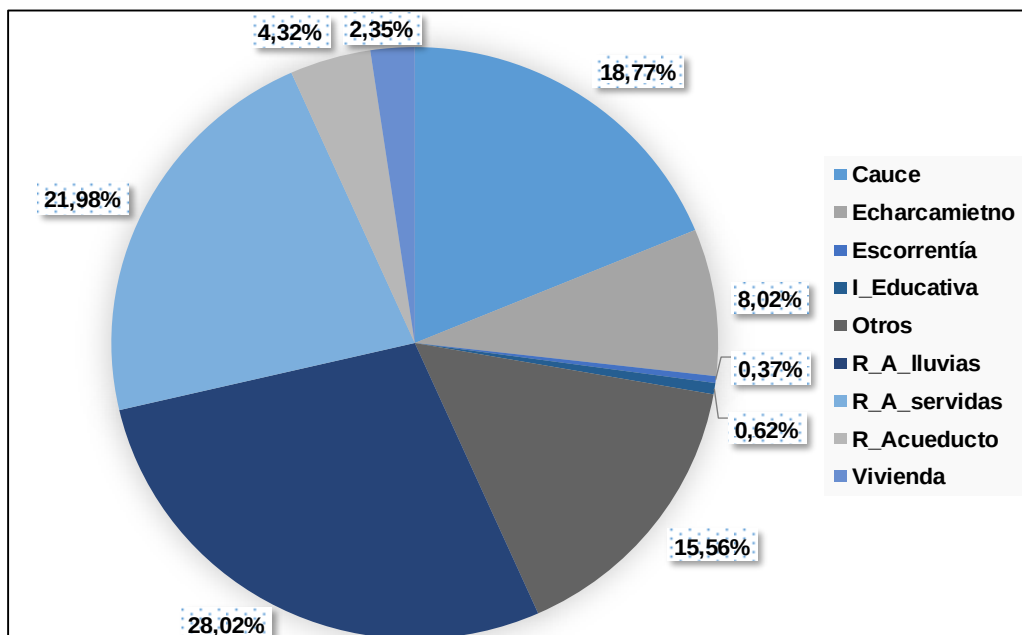
Pese a que estos eventos representan el 21,98% de los datos son los eventos, que ocasionan más perdidas materias y personas afectadas.

Figura 6.5. Número de eventos discriminados por detonantes principales



Fuente: Proyecto POT

Figura 6.6. Porcentaje de eventos acorde con el fenómeno de origen, Base Desinventar



Fuente: Proyecto POT

Por el contrario, el resto de novedades equivalente al 71.12%, son atribuidas a fallas en redes de acueducto con el 4.32% con un total de 35 reportes, con un máximo en año 2004 con 13 emergencias, generalmente asociadas fallas de las estructuras por aplastamiento producto de cargas estáticas y dinámicas, colmatación de la tubería, fugas de la tubería por desacoples o perforaciones ilícitas que generan desestabilización de la ladera y posterior deslizamiento y materiales defectuosos causando problemas en edificaciones y viviendas, otros eventos asociados a inundaciones son causados por fallas en las redes de aguas servidas de alcantarillado y aguas lluvias, con un porcentaje de 21.98% y 28.02% respectivamente este tipo de inundaciones se atribuyen a desempates de las tuberías en las llegadas de los pozos de inspección, fallas en la estructura por aplastamiento, colmatación por arrastre de basuras y/o materiales lavables de canteras y construcción, descoles inadecuados que generan reflujos en las alcantarillas que afecta por lo general viviendas, vías o zonas con topografías con depresiones marcadas; en cuanto a las fallas en sistemas pluviales se debe generalmente a colmatación de los sumideros por arrastre de flotantes y materiales pétreos y o pérdida de transporte por altas carga de hidrometeoros en estado sólido (granizo), que retrasa el transporte del sistema de forma momentánea que produce inundaciones en las vías.

6.1.1 Comparación eventos registrados y precipitaciones medias anuales

Se realizó una comparación entre los eventos de inundación a lo largo de los años y las precipitaciones medias mensuales aportadas por la estación Aeropuerto el Dorado localizada en las coordenadas 4.705583 latitud Norte, -74.150667 Longitud oeste, a una elevación 2547 m.s.n.m, en la localidad de Fontibón, cuyas mediciones de precipitación se realiza con pluviómetros estándar, las precipitaciones se promediaron se estimaron mediante polígonos de Thiessen con las estaciones más cercanas al a la cuenca media del río Bogotá. Para este análisis nos centramos en el número de eventos contenidos en la base de datos SIRE y nos basamos en las cuantificaciones realizadas por DesInventar ya que esta última asocia mediante su algoritmo y las unidades afectadas el reporte las pérdidas económicas aproximadas, según la magnitud del evento registrado. La ventana temporal de análisis se realiza desde el año 2001 al año 2016, donde la base de datos de Desinventar reporta un total de 810 eventos por inundación frente a 6593 por parte de SIRE.

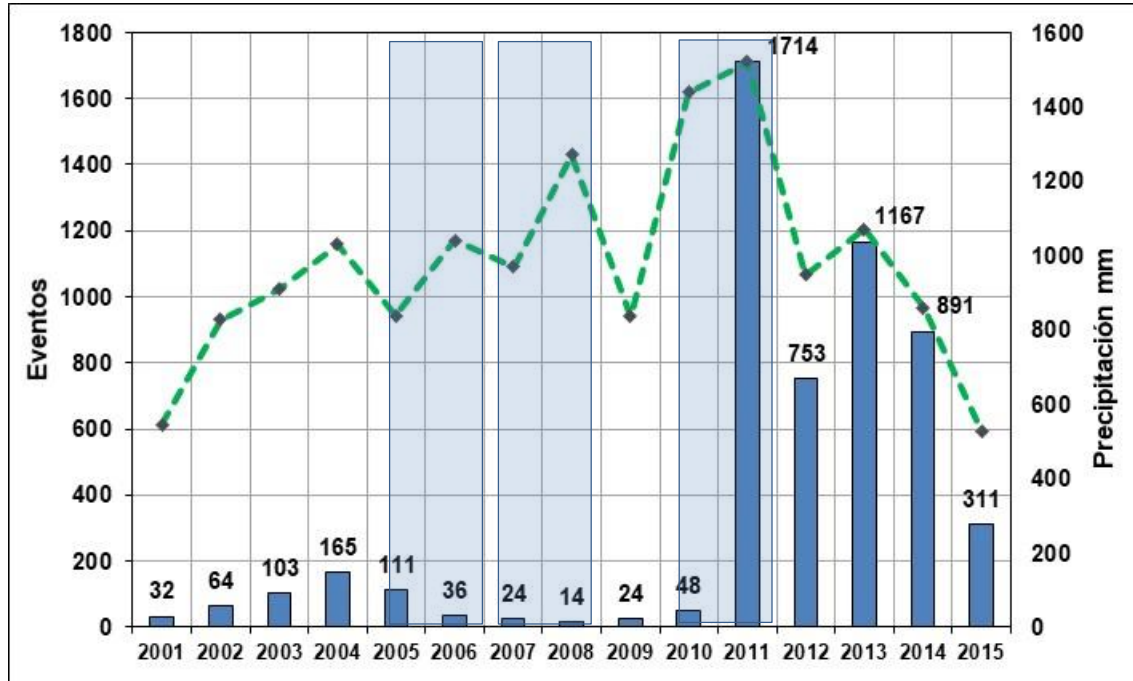
Podemos observar que para el periodo entre 2001 a 2005 se tuvieron 511 sucesos de inundación en la base SIRE, cuyos reportes fueron bajos comparado con las precipitaciones medias anuales registradas cuyo rango esta entre 827.9 mm a 1029.1 mm (ver Figura 6.7), concentrando así para esos años el 7.75% del total de eventos, donde se evidencia que para los años 2005 a 2006 el fenómeno de la niña fue moderado, como se ve en la Figura 6.7, en franjas azules.

Para ese mismo rango la base Desinventar debido a la persistencia de las lluvias llevaron a generar cerca de 56 reportes por desbordamiento de cauces, con niveles de lámina de agua que van desde 40 cm hasta 80 cm generando un aumento en los deslizamientos por avenidas torrenciales, lo anterior acorde a lo reportado en las bases de datos en la descripción de cada evento. Dentro de ese periodo cerca del 30.35% se atribuyen a fallas de sistemas de aguas pluviales producto de la precipitación, daños en viviendas por fallas en las redes internas de las mismas, bajantes de agua o fractura en las tejas por usar materiales de mala calidad; los reportes arrojan afectaciones en viviendas en los primeros pisos con láminas de agua inferiores a 30 cm y vías públicas, 22.53% atribuidas a fallas de las redes de aguas servidas que por lo general tienen un aumento en la cantidad de reportes en los periodos invernales.

Es preciso mencionar que este reporte arroja un recuento cercano 176 barrios afectados los largo de las 19 localidades, el promedio de incidentes por inundación va de tres reportes en ese periodo en Polo Club, Bellavista, Lucero Alto, Caracoli, Bonanza, El Tintal Central, San Martín Sur, Santa Rita De Suba, Tibabuyes, Cedritos, La Uribe, San Antonio Norte, San Patricio, Santa Bárbara Occidental, con cuatro reportes Chico Norte II y Sector San Francisco, con cinco reportes Ismael Perdomo y Lisboa, por otra parte los barrios Berlín, Tibabita y Tibabuyes Occidental tiene reportes entre siete, ocho y nueve respectivamente pertenecientes a las localidades de Bosa y Usaquén, paralelo a esto los barrios más críticos en cuanto a reincidencia de emergencias por inundación, están en la localidad de Suba en los barrios Bilbao y Santa Cecilia, siendo esta la localidad con mayor afectación.

Acorde a las explicaciones dadas por el Acueducto de Bogotá se debe primordialmente por el suelo blando de Bogotá, que propicia que las estructuras tengan asentamientos diferenciales elevados permitiendo generar ondulaciones en las vías y casas (también por las raíces de los árboles), generando sifones que represan el agua y permiten la colmatación por arrastre de finos y basuras en las redes de acueducto y alcantarillado pluvial y sanitario, como ocurre en la calle 127, especialmente hacia el oriente (El Tiempo, 2014). Estas ondulaciones en el terreno y especialmente en las vías y casa generan que exista una desnivelación de los sumideros, por lo que el agua no drena adecuadamente como sucede en la avenida 68, (El Tiempo, 2014); es importante mencionar que la EAB-ESP está realizando levantamiento de los sumideros y clasificándolos según el tipo y su funcionamiento ya que muchas fallas de drenaje vial se deban al mal diseño y a construcción de estructuras por parte de otras entidades distritales y privadas sin la supervisión del EAB-ESP. Otro factor para estos encharcamientos es producto obras viales que no hacen una adecuada conexión entre los sumideros al sistema del alcantarillado o los diseños no cuentan con la capacidad suficiente para evacuar las lluvias.

Figura 6.7. Comparación de Número de eventos precipitaciones medias anuales, base SIRE

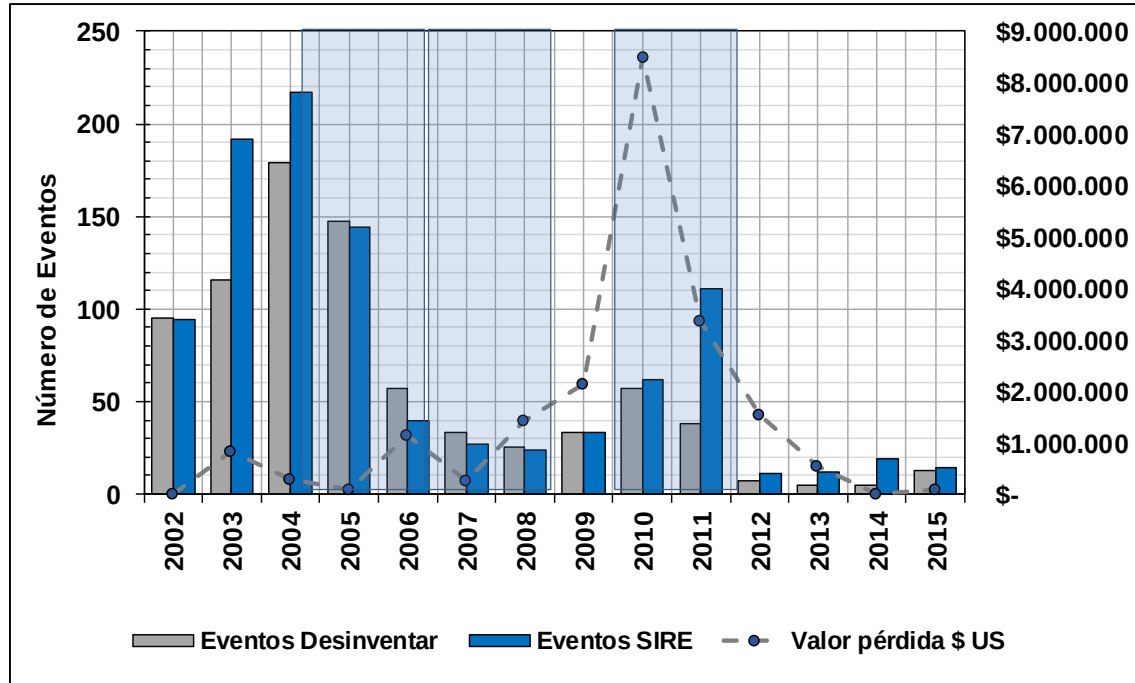


Fuente: Proyecto POT

Acorde con Desinventar y los eventos equivalentes de la misma de SIRE, Las pérdidas totales van del orden de \$ 1.199.230 dólares, disgregado por año en \$ 815.588 en 2003, \$ 298.589 en 2004 y \$ 85.053 en 2005, donde no se cuenta con registro en el año 2002, estos incrementos de dinero hacia el 2002, se deben a presencia de desbordamientos que generalmente tiene el mayor número de afectados y pérdidas asociados, (ver Figura 6.8).

En el periodo de 2006 a 2009 se evidencia una caída cerca del 72.44% en los reportes asociados a inundaciones con un total de 148 emergencias en Desinventar, esta caída se relaciona a un rango de precipitación en estos años entre 1041.13 mm a 969.9 mm, y la base cruda de SIRE reporto 98 equivalentes al 1.48% del total y reportando una disminución frente al periodo anterior de un 80.82%, estas disminuciones pueden estar atribuida a cambio de criterios y diferencia en los métodos de retro alimentación de cada base, o a periodos de lluvia con persistencia moderada que no supero la capacidad hidráulica del sistema de alcantarillado pluvia y cueces.

Figura 6.8. Comparación de Número de eventos y costos, base Desinventar



Fuente: Proyecto POT

Consecuentemente, según DesInventar las épocas invernales de los años 2007 a 2008, referente a fenómenos de la niña fuerte en el primero y segundo semestre, equivalente a 10 meses con intensidad fuerte, presentaron una mejor respuesta ante el evento con, 41 reportes por desbordamiento de cauces, con niveles de lámina de agua que van desde 30 cm hasta 150 cm, generando un aumento en las pérdidas totales a \$ 4.960.370, con un aumento en la pendiente en los años 2008 y 2009, (ver Figura 6.7). Dentro de ese periodo el 26.35% se atribuyen a fallas de sistemas de aguas pluviales producto de la precipitación, con daños en viviendas y vías producto de la colmatación generada por el lavado de basuras, que afectan sótanos y parqueaderos, con una relación con las incidencias por encharcamiento con cerca 12.84%, cuyo principal afectación se centra en las vías públicas, entre tanto, las fallas por redes de aguas servidas son principalmente por taponamiento de la sección hidráulica, fallas de la estructura, insuficiencia en las redes e inexistencia de las mismas.

La principal atención está dentro del desbordamiento por cauce se relaciona a quebradas, canales y humedales con 27.07% del total de reportes, relacionado primordialmente con las precipitaciones reportadas en la ciudad, en los periodos invernales a lo largo del río Bogotá con afectación a las áreas aferentes cercanas a estos cuerpos de agua y que principalmente aquejan a la población asentada ilegalmente debido a la carencia de infraestructura de alcantarillado en dichas zonas o disposición por debajo de la cota de

Página 74 de 306

aguas máximas a los emisarios que provocan refluo hacia casas y avenidas en barrios con mal drenaje. Las localidades afectadas son principalmente Bosa, Engativá Teusaquillo, en los barrios, Villas Del Progreso, Engativá Zona Urbana, Las Ferias, Villa Del Mar, Nicolás de Federman con reportes que van entre 3 a 6.

Referente a el periodo de 2010 a 2012, se vio influenciado fuerte mente por la estación invernal que ocurrió en Colombia en 2010-2011 se presenta como una anomalía marcada respecto a las estaciones invernales “normales”, con precipitaciones e inundaciones muy superiores a las observadas históricamente. Durante 2010 se presentó una rápida transición entre dos eventos el Niño y la Niña, trayendo consigo severas oscilaciones climáticas y generando mediciones por encima de los máximos registrados históricamente en algunos puntos de medición, con magnitudes del orden de 1521.2 mm en año 2011, seguido del año 2010 con 1439 mm y reportando una disminución para el año 2012 a 948.4 mm. Este pico se correlaciona con un pico en los reportes de las bases de datos, mientras Desinventar tuvo un total de 102 eventos, SIRE arrojó un aumento cercano a 25 veces al periodo de 2006 a 2009 con un total de 2515 emergencias, en las que se reporta anegación por falta de capacidad hidráulica bien sea por insuficiencia de la sección del cauce o por colmatación producto del arrastre de pétreos y basuras en puntos específicos.

Los reportes por desbordamientos de Desinventar de cuerpos de agua superficiales naturales y artificiales fue de 44 reportes de un total de 102, reportando afectación en 31 barrios distribuido en 13 localidades, los barrios El Cedro, Villa Gladys, San Vicente Ferrer son los que más reportes anuncian con un total de 2 a 3 cada una. Por otro lado, los costos en estos tres años son equivalentes a \$ 13.388.504 millones de dólares superiores a los 11 años de reportes analizados, cuyo pico máximo se evidencio en 2010 \$ 8.485.776. En general, los registros aumentan en años con mayores valores de precipitación.

Entre tanto para el periodo desde 2013 a 2015, se observa que para Desinventar hay una reducción de eventos elevada del orden del 61%, comportamiento que se observa en lo reportado por SIRE, donde de esta última se cuantificaron 1167 eventos en 2013, una reducción del 23.65% a 2014 con 891 reportes y un 73.65% a 2015 con 311 comparación frente al mismo año; esto se debe a la disminución de precipitación para ese mismo periodo pasando de 1071 mm al año 2013 a 528 mm al año 2015.

Cabe concluir que los incrementos de inundaciones en el distrito van de la mano con los periodos invernales más prominentes durante los últimos 12 años, con eventos atípicos en precipitación con intensidades y duraciones mayores que pusieron a prueba la redes de drenaje y estructuras de contención de caudales en su momento, complementados con el fenómeno de la niña más extenso; sumado a una menor preparación frente a los eventos de inundación, menor control del comportamiento de las redes alcantarillado asociado a problemas de idiosincrasia de las zonas ya que la colmatación por basuras y

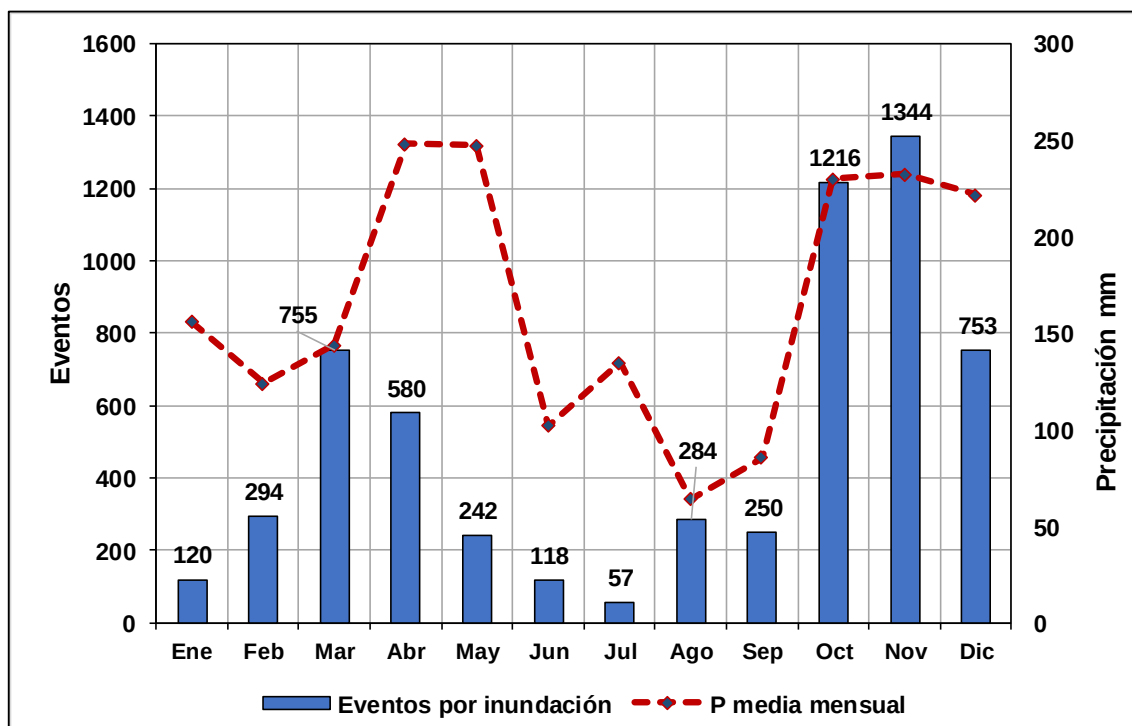
Página 75 de 306

arrastres de materiales lavables fomentaron el colapso de las estructuras hidráulicas y disminución de su capacidad de transporte, donde los errores de operación en los despachos de los embalses, generaron emergencias en diferentes zonas de la ciudad.

6.1.2 Distribución anual de eventos

La distribución anual de la totalidad de eventos presenta un comportamiento claramente bimodal, con picos en los meses de abril y noviembre, y con una tendencia a disminuir en el último mes. Esto responde a la relación directa entre la generación de fenómenos de inundación, encharcamiento y fallas en las redes de drenaje de aguas lluvias y servidas, y la distribución de lluvias en la ciudad de Bogotá D.C, con tendencia similar y picos en los meses de marzo - mayo con valores máximos mensuales de 247.4 mm a 248.1 mm, en el primer ciclo de lluvias, entretanto la segunda temporada se presenta en octubre – noviembre con magnitudes de 230 mm a 232.4 mm, (ver Figura 6.9). Dichos meses presentan persistencia elevadas en precipitación ya que en promedio estos meses tiene entre 13 a 14 días, con máximos que van desde 20 a 24, días, es decir cerca del 80% del mes llueve, (ver Figura 6.9)

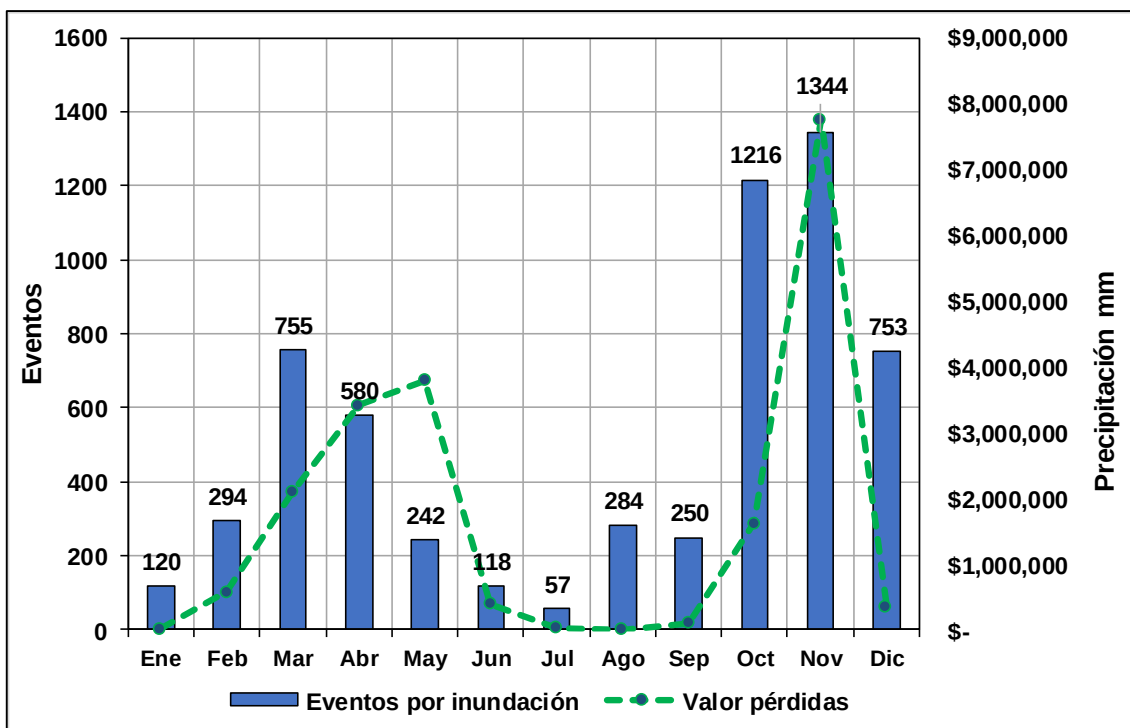
Figura 6.9. Comparación de Número de eventos precipitaciones medias mensuales – Base de datos SIRE.



Fuente: Proyecto POT

La marcada distribución bimodal, con picos en los meses de mayo y octubre, es obtenida al graficar los eventos generados por inundaciones por desbordamiento y fallas de la red de alcantarillado, donde en el primer periodo invernal según la base de datos SIRE reporta un pico 755 reportes totales con una reducción del 23% con respecto abril, si se compra estos valores con el segundo periodo vemos que es un 38% más bajo referente al mes de octubre y un 44% con noviembre, corresponde a las condiciones hidrometeorológicas de Bogotá, donde es claro que existe una predisposición al aumento de emergencias en el segundo periodo, acorde a la base de datos de SIRE. Las cifras de pérdidas se comportan igual con un carácter bimodal concluyendo que el mes de abril y noviembre son los más costosos con \$ 3.795.666 y \$ 7.761.764, la diferencia de los costos y eventos va en la relación en la intensidad de los eventos y la cantidad de precipitación máxima en el mes de noviembre fue de 232.4 mm, (ver Figura 6.10).

Figura 6.10. Comparación de Número de eventos precipitaciones medias mensuales – Base de datos SIRE y Desinventar.



Fuente: Proyecto POT

6.1.3 Daños y pérdidas desde 2002

La evaluación se realizó por la base de datos Desinventar principalmente, ya que deja ver mejor el comportamiento del fenómeno y su incidencia, donde los reportes discutidos en

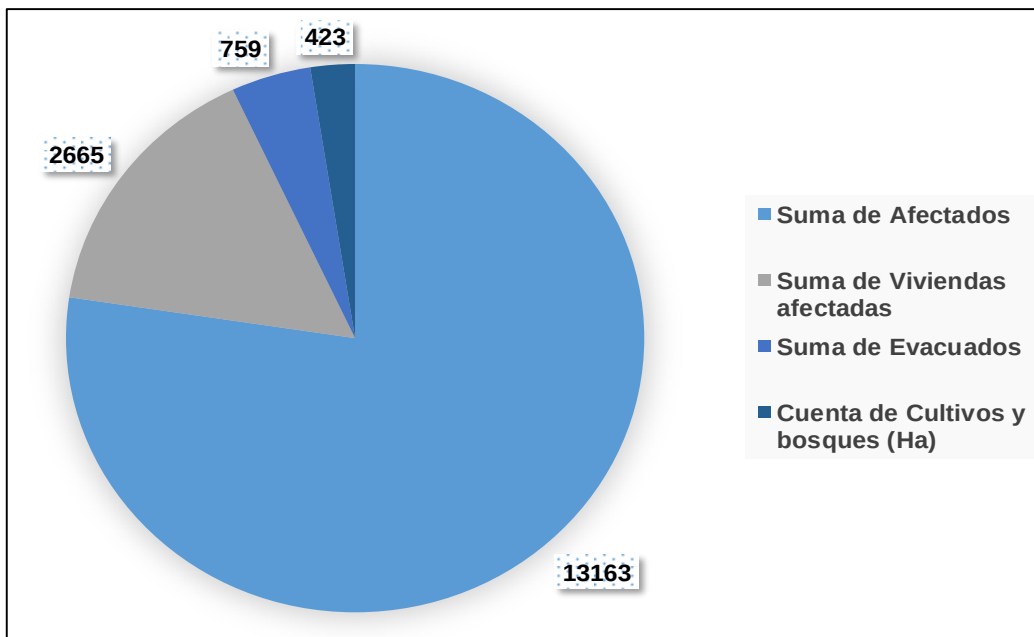
Página 77 de 306

las secciones anteriores no registran saldos trágicos por inundaciones pese a lo recurrente de esos eventos.

Según la Base de datos de Desinventar, el número de viviendas afectadas asciende a 2665 para las emergencias atribuidas a inundaciones, de igual forma 423 Ha que representa daños a zonas cultivables y bosque fueron afectadas por estos eventos periódicos de carácter bimodal. El valor económico de las afectaciones registradas ha sido estimado en un total aproximado de \$ 20.185.078 de dólares.

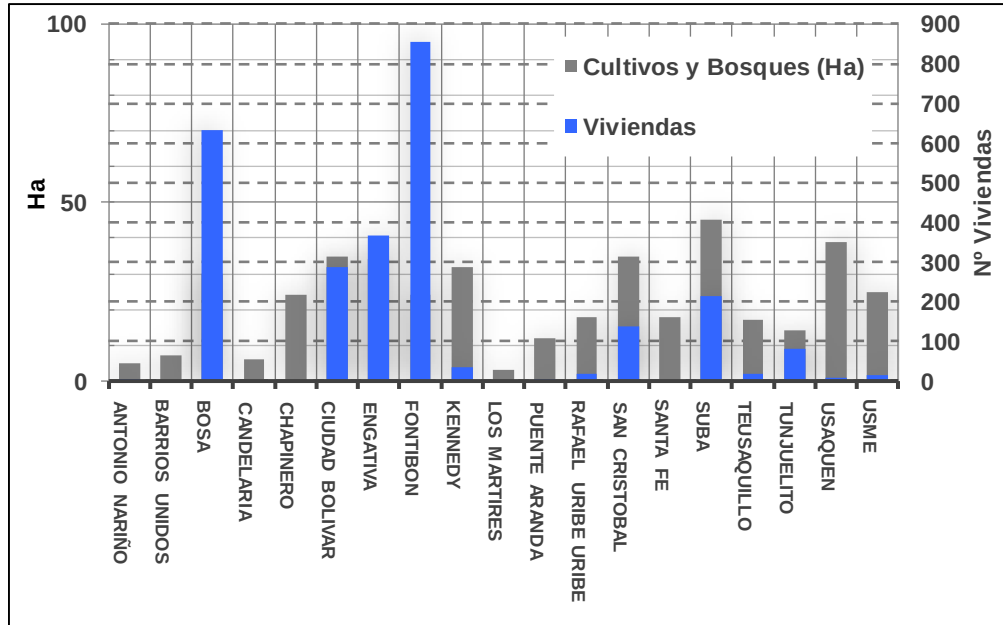
Las personas afectadas suman un total de 13163 personas, todas debido a las inundaciones por desbordamiento de cauce con ciertos eventos conjugados de avenidas torrenciales, inundaciones por fallas en sistemas de alcantarillado pluvial y sanitario, con un total de 759 personas evacuadas. La distribución de afectaciones de viviendas y terrenos se hace por cada una de las localidades acorde a la totalidad de reportes, donde Engativá, Fontibón, Suba, Bosa y Ciudad Bolívar presentan un total de viviendas de 366, 854, 215, 631 y 286 respectivamente, y las pérdidas equivalentes a cada una de ellas es \$ 5.004.749,00, \$ 4.050.372,00, \$ 3.023.459,00, \$ 2.219.779,00 y \$ 1.963.566,00, siendo las localidades con mayores pérdidas relacionadas a eventos de inundación, las otras localidades que reportan pérdidas son Teusaquillo Tunjuelo, Usaquén, Antonio Nariño, Candelaria, Kennedy, Puente Aranda, San Cristóbal, Rafael Uribe, con un total de \$ 2.636.149,00 (ver Figura 6.11).

Figura 6.11. Total de afectados, viviendas y cultivos – Base Desinventar



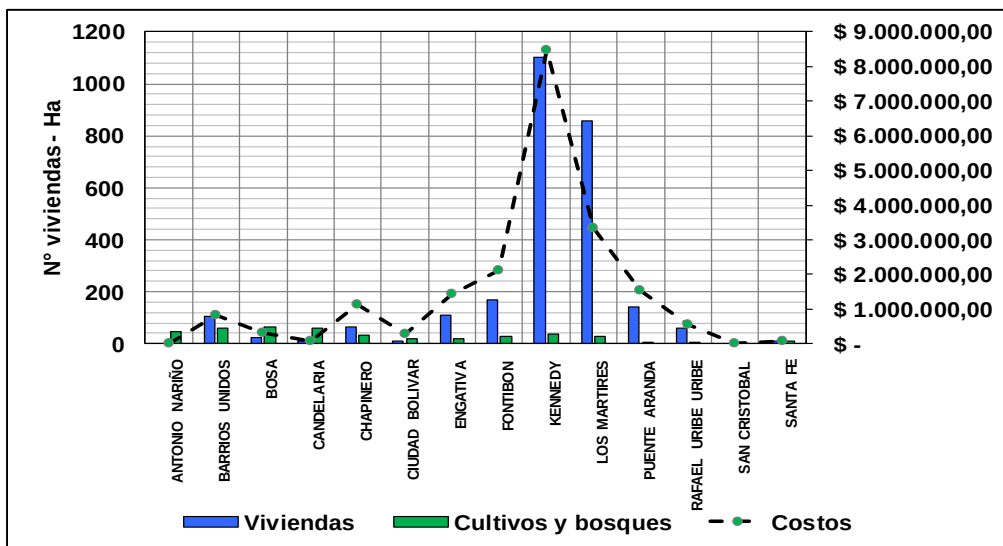
Fuente: Proyecto POT

Figura 6.12. Total de viviendas y cultivos afectados por localidad – Base Desinventar



Fuente: Proyecto POT

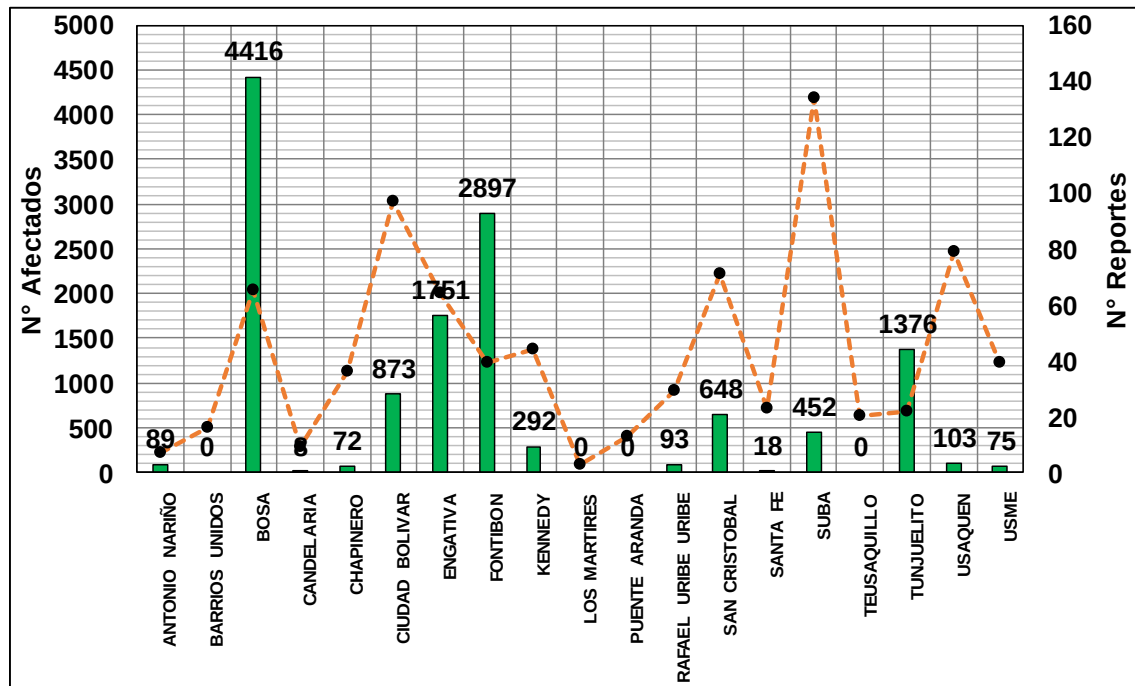
Figura 6.13. Número de viviendas y cultivos afectados por localidad, comparado con los costos – Base Desinventar



Fuente: Proyecto POT

Las personas afectadas suman un total de 13163, dentro de 14 años de análisis donde las mayores concentraciones de afectados está en Bosa con 4416 y 65 reportes, seguido por Fontibón con 2897 39 reportes, Engativá con 1751 y 64 emergencias, Tunjuelo con 1376 personas y 22 sucesos de inundación, podemos ver una propensión que indica más afectado más eventos reportados eso se cumple con Bosa, pero localidades como Engativá, Ciudad Bolívar, Suba, Usaquén muestran un numero de fichas que están en un rango de 64 a 134 reportes pero con número de víctimas menores, lo que indican que en su mayoría son reportes de afectaciones medias bajas que no generan impactos elevados dentro de la población posiblemente relacionados con casos aislados de 4 o menos inmuebles o problemas donde la lámina de agua solo genera problemas en la vías sin ingreso a viviendas, (ver Figura 6.14).

Figura 6.14. Comparación de número de reportes y número de personas.



Fuente: Proyecto POT

Este tipo de bases de datos tienen unos procesos de valoración de datos, con ciertos desequilibrios para estimar y cuantificar las pérdidas a partir de la información suministrada, y más cuando la variedad que puede existir dentro de un mismo evento como es el caso de inundación, ya que la trazabilidad del reporte y los criterios de evaluación de nuevos reportes no son los mismo, afectan en cierta medida la cuantificación de las misma y dificultando de igual forma la clasificación del evento, en conclusión un mejor lineamiento sucinto y ordenado contenido en formatos adecuados

permitirían una mayor claridad en la trazabilidad de estos bancos de información, donde no se descarten eventos si no que se mejore el criterio de selección bien sea en el algoritmo de depuración y/o durante las cadenas de alimentación, evitando en gran medida tener una subestimación de los costos reales y pérdida de información interesante que podrían permitir la adecuación de procesos de extracción de información que se encarguen de la preparación de los datos y de la interpretación de los resultados obtenidos mediante técnicas estadísticas se estudian las técnicas de Minería de Datos (Datamining) y modelos de predicción mediante diagramas lógicos como árboles de decisión, basados en técnicas de aprendizaje automático que siguen reglas y permiten representar y categorizar una serie de condiciones sucesivas que describen patrones dentro de un problema de análisis como es el caso de la inundación y sus diferentes causas.

6.1.4 Representación espacio - temporal de reportes por inundación

El comportamiento espacio temporal de las inundaciones en Bogotá en los últimos 15 años, viene de la mano de con el proceso de expansión de la ciudad y la incidencia del fenómeno de la Niña, la cual afecta el patrón pluviométrico del país desatando excesos de precipitación en áreas específicas del nororiente, centro y sur de la región Andina y el nororiente de la región Caribe, (IDEAM, 2014). Esta variabilidad climática interanual presenta eventos máximos cada vez más frecuentes, donde las épocas de la Niña tienen un comportamiento de moderado a fuerte, corroborando el comportamiento a nivel Distrital y en general nacional, donde la incidencia de últimos fenómenos muestra aumentos en los registros de precipitación, (IDEAM, 2014), a manera de ejemplo se observa que, en el periodo 1951 a 1970 en promedio cayeron 172.88 mm, mientras que para el periodo 2001–2015, cayeron 184.2 mm. Para poder analizar la incidencia y debilidades del sistema hidráulico, fluvial y pluvial de transporte de la escorrentía mediante la distribución del evento en el espacio con el fin de tener elementos para identificar posibles acciones tendientes a mitigar los riesgos asociados con este tipo de fenómeno, teniendo presente dicho comportamiento no permanece en el tiempo si que cambia acorde a sus variables, en función del comportamiento hidroclimatológico y la intervención antrópica.

Como de mencionó con anterioridad la base de datos de SIRE permite distribuir los eventos en el espacio, ya que cuenta con las coordenadas asociadas a cada uno dentro de la ventana temporal de análisis (15 años), con resolución menor a la que ofrecen los barrios. Para establecer la magnitud de las inundaciones en el distrito se realiza un análisis de densidad para definir el número de eventos por unidad de área, en donde se ajustan los puntos a una superficie curva uniforme, año por año y total de eventos. En la Figura 6.15, se observa la densidad de eventos por kilómetro cuadrado, donde se fijan seis categorías para clasificar el número de eventos por kilómetro cuadrado siendo los niveles de 3 a 11 los que clasifican zonas con susceptibilidad baja a inundaciones dada su elevación, densidad de redes de alcantarillado o al tener una distancia adecuada de un cuerpo de agua y/o río. La categoría con incidencia media estaría dentro del rango de 22

Página 81 de 306

a 42 eventos y alta a muy alta con vales entre 43 a 138 eventos, clasificando las zonas con alta susceptibilidad a inundaciones.

Por un lado, las inundaciones abarcaron casi toda el área oriental hacia las inmediaciones del río Bogotá y la zona occidental hacia los cerros por la carrera séptima. Si analizamos desde la zona norte, identificamos la cuenca del río Torca dentro de la localidad de Usaquén, donde en la parte oriental se identifican las UPZ San Cristóbal, Verbenal y La Uribe que tiene una densidad de eventos del orden 42 a 138 eventos, mientras que la parte baja tiene zonas de baja incidencia y reportes por inundación desde cero a 22 eventos los cuales se centran en las UPZ La academia y San José de Bavaria.

La cuenca del río del río salitre concentra la mayor cantidad de eventos en tres zonas, la primera hacia la zona oriental debajo de la carrera 7 desde la calle 85 hasta la calle 127, con magnitudes de 42 a 138 eventos, reportados en las UPZ Chico Lago, Los Andes, Doce de Octubre, Santa Barbara y en el humedal Santa María del Lago, estas zonas tienen interacción con el canal Molinos. La segunda zona se centra en la calle 127 con carrera 91 a la altura del humedal Juan Amarillo en el segundo espejo de agua y el brazo derecho del mismo, en las UPZ El Rincón y La Floresta. La tercera zona se centra hacia la parte baja de la cuenca en la ribera del río Bogotá a la altura de la desembocadura del Humedal Juan Amarillo hacia los barrios ubicados por la margen izquierda del mismo, esta zona pertenece a la UPZ Tibabuyes y presenta una densidad alta en los barrios Lisboa, Santa Cecilia, Villa Cindy, Santa Rita, Tibabuyes y Bilbao. Dichas inundaciones se deben a problemas de drenaje e interacción con el río Bogotá en esa zona.

El área de la cuenca del humedal Jaboque, en la localidad Engativá, las UPZ Engativá y Garcés Navas que interactúan directamente con el Humedal Jaboque, gran parte de dichas áreas presentan de 22 a 42 eventos por kilómetro cuadrado, pero los barrios Centauros del Danubio, Tierra Grata, El muelle II, Villa Gladys I y II, El Porvenir, Granja del Dorado, Palmeras, Villa Sandra y Miranda, con 138 eventos kilómetro cuadrado.

En la zona central a lo largo de la superficie de la cuenca del río Fucha, se identifican dos zonas críticas, la primera se localiza en las localidades La calera, Santa fe y los Mártires con densidades del orden de 22 a 42 eventos por kilómetro cuadrado y con zonas de alta incidencia que llegan a valores de 138, en las UPZ Las Cruces, La Candelaria, Sata Isabel, La Sabana y Ciudad Montes; Estas Unidades de Planeación Zonal, interactúan con el río Palo Blanco y Fucha en el tramo de la calle 11 sur hasta la carrera 14 y hacia el norte, está la entra del río San Francisco. La segunda zona es la colinda con el río Bogotá hacia el puente vehicular que comunica con Funza en la localidad de Fontibón, donde se encuentran las UPZ Fontibón, San Pablo y Zona Franca, presentando densidades entre 42 a 138 eventos, abarcando los barrios Industria Promotores, Casandra, Puente Grande, Angélica, Fontana y Radio Reloj de Caracol; la parte media de la localidad presenta fenómenos de inundación con densidades que llegan a 40 eventos.

La cuenca del Tintal, entre la carrera 85 y el río Bogotá, desde la calle 17 y calle 81 en las localidades de Kennedy y Bosa presenta una distribución constante de eventos que van del orden de 11 a 42 eventos en gran parte de la cuenca, esta zona se caracteriza por interactuar con los humedales La Vaca, El Burro y Techo, los cuales presenta en determinadas épocas del año, aguas altas con posibilidades de desbordamiento; Las UPZ Tintal sur, El Porvenir, Corabastos, Patio Bonito y Calandaima tiene un aumento en la densidad superando los 42 eventos y llegando 138. Lo anterior, al ser un área con mal drenaje y con topografías cóncavas, que hacen parte del abanico aluvial inundable del río Bogotá la hace susceptible de inundaciones y encharcamientos, es por eso por lo que dicha zona, cuenta con un sistema de redundancia de bombeo para la evacuación de aguas lluvias y servidas en las que se destacan las estaciones de Gibraltar, Britalia, La Isla, Fontibón, La Rivera, Navarra y el Gran colombiano. Paralelo a el sistema de bombeo se adelantó el en el sistema Tintal es Canal Embalse Cundinamarca, que recoge las aguas provenientes de los subsistemas secundarios conformados por el drenaje del Tintal su, Tintal Central, Norte y parte de la localidad de Fontibón, el cual presenta problemas de capacidad, cuando no se realizan las tareas de mantenimiento del sistema ya que, debido a la calidad de aguas que trasporta este arrastra desechos como envases plásticos, trozos de icopor, animales muertos y basura en genera; los lodos y proliferación de buchón, empeoran la calidad del agua y la capacidad de transporte. Este sistema presento inundaciones en el año 2011, que dejó cerca de 26.000 damnificados en las localidades de Kennedy y Bosa, en el suroccidente de Bogotá.

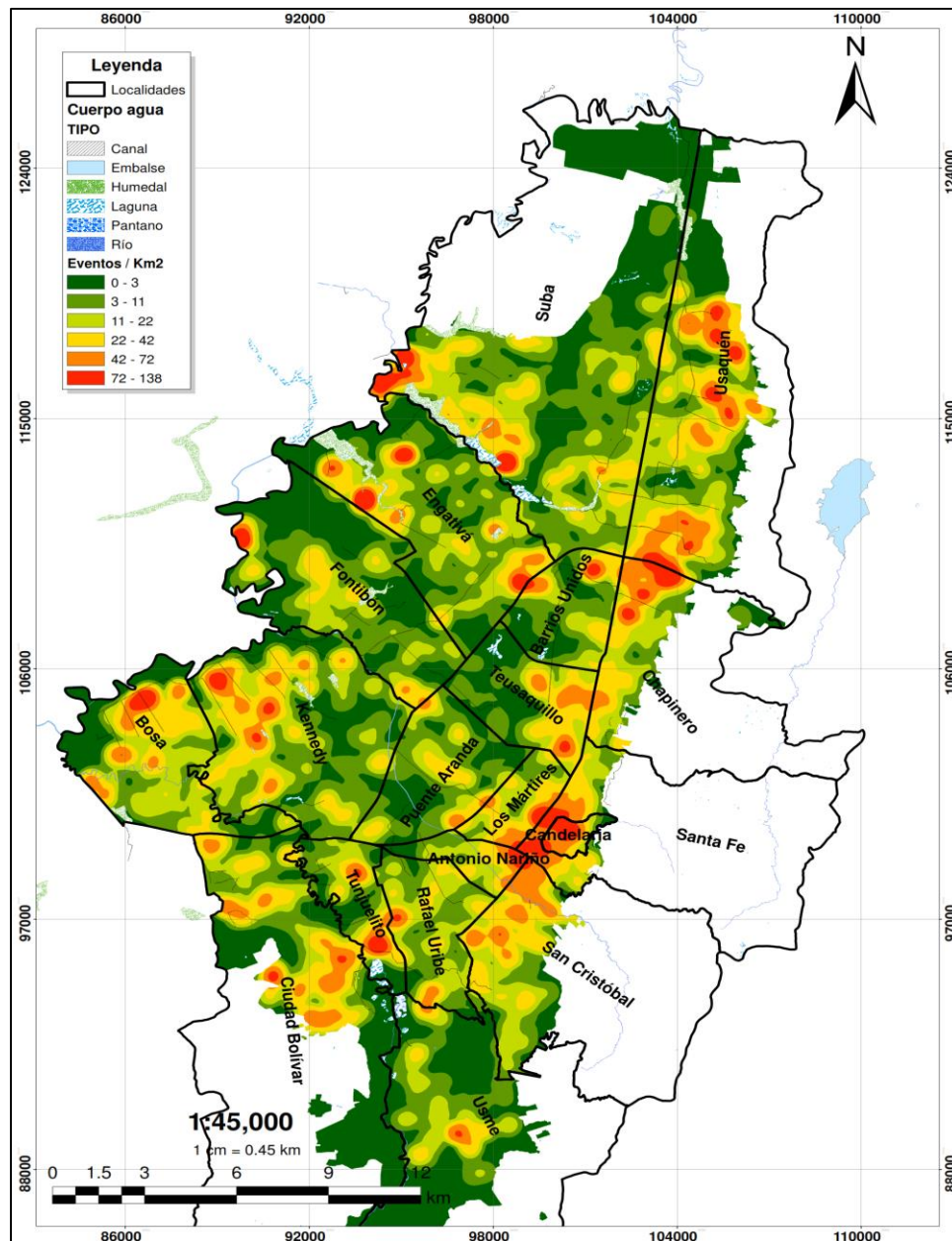
La cuenca del río Tunjuelo, presenta una densidad de eventos dentro del rango de 22 a 138 por kilómetro cuadrado, principalmente en los barrios localizados hacia las riberas de las subcuencas más importantes cuencas, predomina la quebrada Yomasa, que tiene mayor afectación de las UPZ Alfonso López y Comuneros, hacia la zona de canteras. La quebrada Santa Librada afecta las UPZ Diana Turbay y Danubio, en los barrios La paz, Danubio azul y El Portal. La quebrada Chuguaza, afecta en la desembocadura con el río Tunjuelo la UPZ que lleva su mismo nombre, en los barrios Tunjuelito, Marco Fidel Suarez y Carlos Norte; pese a que esta zona reporta los eventos por desbordamiento, los eventos se deben atribuir a un mal funcionamiento del sistema de alcantarillado sanitario y pluvial que no drena de forma correcta las aguas y cuando se presenta olas invernales fuertes el flujo rebosa por las tuberías afectando calles y vías, lo anterior se presenta en la UPZ el lucero. La quebrada Limas y el canal de la Muralla, presentan desbordamientos hacia sus riberas, afectando las UPZ de Jerusalén y Ismael el Perdomo con densidades de 42 a 72 eventos. La quebrada Limas ha generado reportes en el barrio Jerusalén, debido a la alta intervención del cauce y al no cumplimiento de rondas hidráulicas, cabe mencionar que la zona es susceptible a colmatación por la construcción de estructuras de paso para vías vehiculares, la mayor parte de la misma tiene suelos con densidades de 22 a 42, producto de la interacción antrópica, quebrada Limas y el Río Tunjuelo en época invernal.

En general, las afectaciones que en la parte media de la cuenca hacia los embalses del río Tunjuelo y la desembocadura del río Tunjuelo en las UPZ Bosa central, Timiza y Apogeo en los barrios José Antonio Galán (calle 58F sur Cra.78M) de la localidad de

Página 83 de 306

Bosa, obedecen a un mal desempeño del sistema de alcantarillado de la capital y su relación directa con el río Tunjuelo.

Figura 6.15. Densidad de eventos totales por inundación entre 2001 a 2015, base SIRE por localidad



Fuente: Proyecto POT

6.2 ESTUDIOS DE AMENAZA DE INUNDACIÓN

6.2.1 Mapa de Amenaza de Inundación Decreto 190 De 2004

Con el fin de establecer las condiciones de inundación en la ciudad (zona urbana) y las correspondientes zonas de amenaza alta, media y baja, la Dirección de Prevención y Atención de Emergencias DPAE (hoy IDIGER) elaboró una serie de estudios de zonificación, algunos de ellos extienden su alcance a evaluar la amenaza por inundación y otros a evaluar el riesgo por inundación. Con base en estos estudios se desarrolló el mapa de zonificación de amenaza de inundación para la ciudad contenido en el Decreto 190 de 2004, identificando zonas con amenaza alta, media y baja de inundación por desbordamiento.

En los estudios mencionados, se cuenta con información acerca de la topografía, hidrometeorología, geología, geomorfología, hidráulica, geotecnia, uso del suelo, condiciones sociales, organización social y zonificación de amenaza y/o riesgo de inundación. Los estudios que constituyeron la base para el mapa de zonificación de amenaza vigente se muestran en la Tabla 6.3.

Tabla 6.3. Estudios base para el mapa de zonificación de Amenaza por Inundación por desbordamiento Decreto 190 de 2004

Estudio	Alcance	Localidad	Consultor	Fecha	Escala
Zonificación de riesgo por inundación en la localidad de Kennedy.	Amenaza y Riesgo	Kennedy	Ingetec S.A.	1997	1: 5.000
Zonificación de riesgo por inundación en la localidad de Suba	Amenaza y Riesgo	Suba	Ingetec S.A.	1997	1: 5.000
Zonificación de riesgo por inundación en la localidad de Engativá.	Amenaza y Riesgo	Engativá	Ingetec S.A.	1997	1: 5.000
Zonificación de riesgos por inundación localidad de Fontibón: Margen izquierda del Río Bogotá	Amenaza y Riesgo	Fontibón	Ingetec S.A.		1: 5.000
Zonificación de amenaza por inundación en el sector norte de la localidad de Suba.	Amenaza	Suba	Estudios y Asesorías Ingenieros Consultores	1998	1: 5.000
Zonificación de riesgo por inundación del Río Bogotá y acciones para su mitigación.	Amenaza	Bosa	Estudios y Asesorías Ingenieros Consultores	1998	1: 5.000



**ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.**

AMBIENTE
Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático

Estudio	Alcance	Localidad	Consultor	Fecha	Escala
Zonificación de riesgo por inundación del Río Juan Amarillo	Amenaza y Riesgo	Usaquén, Chapinero, Teusaquillo, Engativá y Suba	Hidrotec Ltda.	1998	1: 5.000
Zonificación de riesgo por inundación en diferentes localidades del Distrito.	Amenaza y Riesgo	Fontibón, Tunjuelito, Bosa, Ciudad Bolívar	Ingetec S.A.	1998	1: 5.000
Zonificación de amenaza por inundación del Río Fucha.	Amenaza y Riesgo	San Cristóbal, Fontibón, Kennedy	Hidroconsult a Ltda	1999	1: 5.000

Fuente: Proyecto POT

Con base en los estudios mencionados se realizó la unificación de los criterios de evaluación de amenaza de inundación, la DPAE (hoy IDIGER) oficialmente adoptó las definiciones de amenaza alta, media y baja de inundación por desbordamiento de acuerdo con los criterios planteados en la metodología utilizada por INGETEC (1999) y actualmente se utiliza para la emisión de conceptos técnicos en zonas de inundación por desbordamiento, las definiciones adoptadas se muestran en la Tabla 6.4.

Tabla 6.4. Definiciones de amenaza alta, media y baja adoptadas

CATEGORIZACIÓN DE LA AMENAZA	DESCRIPCIÓN	PROBABILIDAD DE OCURRENCIA
AMENAZA ALTA	Zona delimitada por la línea de inundación producida por el desborde del cauce calculado para el caudal de creciente de un periodo de retorno menor o igual a 10 años, ya sea por causas naturales o intervención antrópica no intencional, y con una profundidad de lámina de agua igual o superior a 0,50 m, duración, caudal y velocidad con efectos potencialmente dañinos graves. Esta franja tiene una probabilidad de estar inundada por lo menos una vez cada diez años durante la vida útil del jarillón hasta ese nivel.	>65%
AMENAZA MEDIA	Zona delimitada por la línea de inundación producida por el desborde del cauce calculado para el caudal de creciente entre los periodos de retorno de 10 y 100 años, ya sea por causas naturales o intervención antrópica no intencional, y con una profundidad de lámina de agua, duración, caudal y velocidad con efectos potencialmente dañinos moderados.	10% -65%

Página 86 de 306

CATEGORIZACIÓN DE LA AMENAZA	DESCRIPCIÓN	PROBABILIDAD DE OCURRENCIA
AMENAZA BAJA	Zona delimitada por la línea de inundación producida por el desborde del cauce calculado para el caudal de creciente de un periodo de retorno mayor o igual a 100 años, ya sea por causas naturales o intervención antrópica no intencional, y con una profundidad de lámina de agua con efectos potencialmente dañinos leves. Esta franja tiene una probabilidad de estar inundada por lo menos una vez cada cien años durante la vida útil del jarillón.	< 10%

Fuente: Proyecto POT

De acuerdo con el Decreto 190 de 2004, el 4,2% de la ciudad presentaba amenaza por inundación por desbordamiento del cual el 28% es amenaza alta, el 56% media y el 16% baja, tal como se muestra en la Figura 6.6 y se discretiza por localidad en la Tabla 6.5:

Figura 6.16. Áreas en amenaza por Decreto 190 de 2004

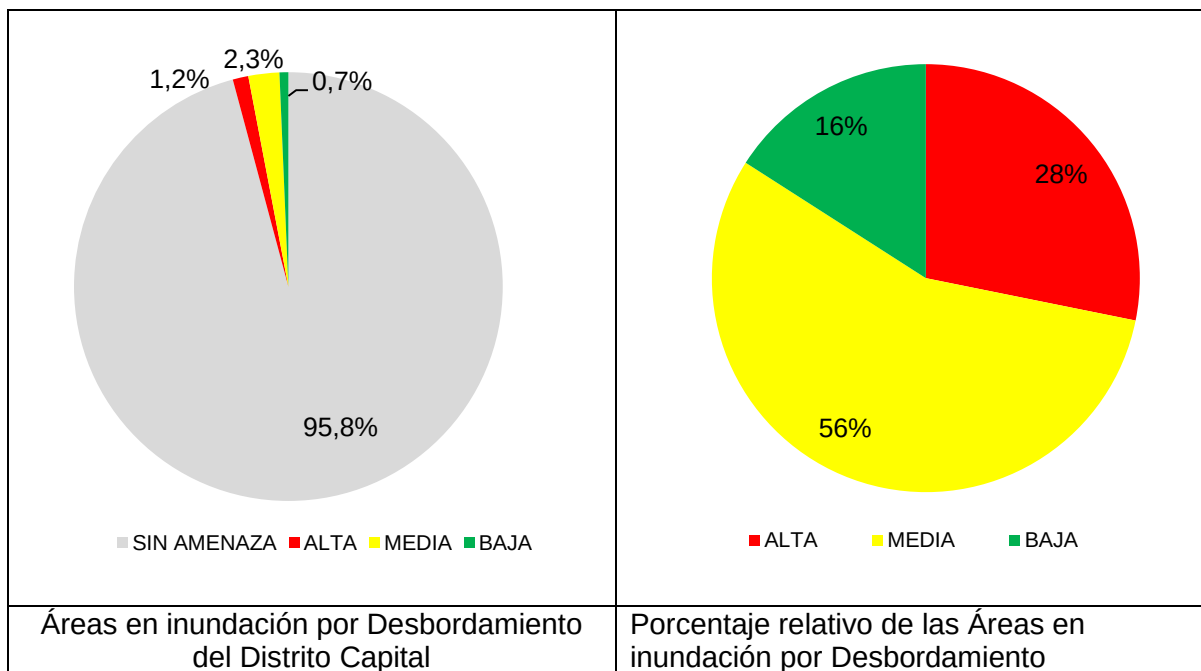


Tabla 6.5. Áreas amenaza alta, media y baja por localidad

No.	LOCALIDAD	AREA (ha)	POT - DEC. 190 DE 2004		
			AMENAZA		
			ALTA (ha)	MEDIA (ha)	BAJA (ha)
1	USAQUEN	6520,14	30,27	0,00	
2	CHAPINERO	3800,89			
3	SANTA FE	4517,06			
4	SAN CRISTOBAL	4909,85	0,14	0,13	0,40
5	USME	21506,67	15,93	13,08	18,67
6	TUNJUELITO	991,09	60,07	90,64	92,45
7	BOSA	2393,32	216,85	1213,31	179,18
8	KENNEDY	3858,97	123,01	1401,52	91,46
9	FONTIBON	3328,10	110,01	262,82	323,71
10	ENGATIVA	3588,10	224,65	441,26	99,61
11	SUBA	10056,05	1090,11	369,94	173,62
12	BARRIOS UNIDOS	1190,34			
13	TEUSAQUILLO	1419,32			
14	LOS MARTIRES	651,40			
15	ANTONIO NARIÑO	487,95			
16	PUENTE ARANDA	1731,11			
17	CANDELARIA	206,02			
18	RAFAEL URIBE URIBE	1383,41	18,23	3,55	11,87
19	CIUDAD BOLIVAR	13000,26	35,46	22,09	97,48
20	SUMAPAZ	78096,88			
TOTAL		163636,96	1924,73	3818,33	1088,46
TOTAL ÁREA EN AMENAZA		6832			
PORCENTAJE DE AMENAZA EN LA CIUDAD			1,2%	2,3%	0,7%
PORCENTAJE RELATIVO DE AMENAZA			28%	56%	16%

6.2.2 Actualización Mapa Amenaza por Inundación Resolución 858 De 2013

Mediante la Resolución 858 del 26 de julio 2013 de la Secretaría Distrital de Planeación, “Por la cual se actualiza el mapa número 4 del Decreto 190 de 2004”, se realizó una actualización del plano normativo utilizando como referencia los conceptos técnicos de legalización y de planes parciales: mediante los cuales se lleva la Amenaza por Inundación por desbordamiento a una escala de predio. Por lo cual es de esperarse que la modificación del plano corresponda a un aumento de escala y no a la modificación de las condiciones de amenaza, con excepción de los casos en los cuales se realice un nuevo estudio de zonificación que respalde el concepto.

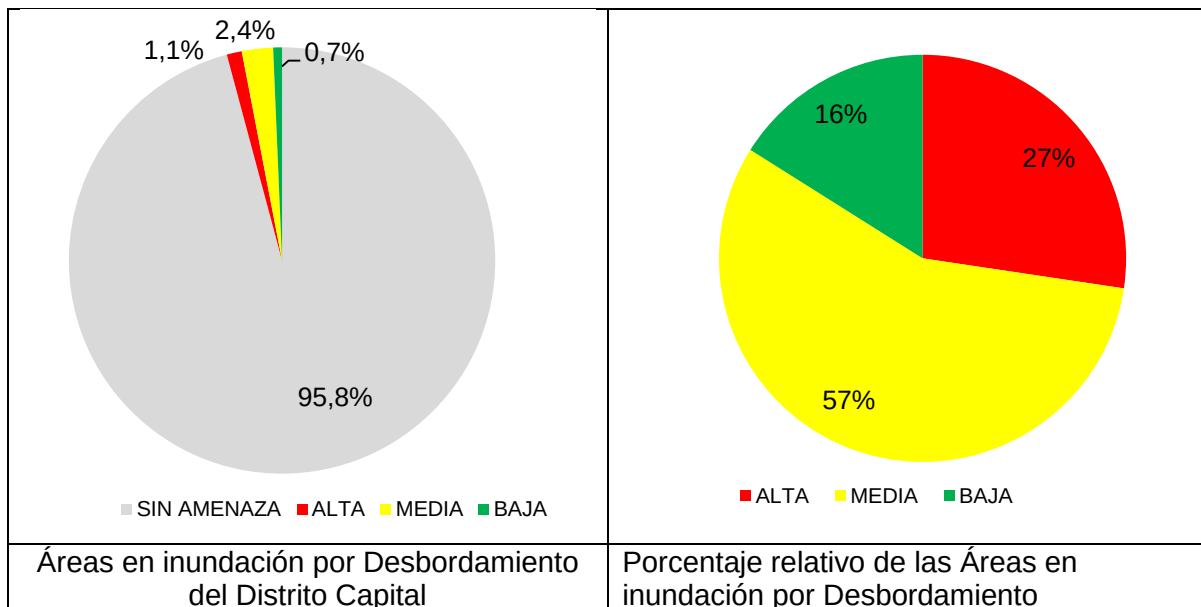
Como resultado de este ejercicio se realizó la actualización del plano de amenaza de inundación incorporado el Concepto Técnico CT-4536 emitido para el sector denominado “Gavilanes” en la Localidad de Suba que tiene como soporte técnico las comunicaciones de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá indicando la culminación de las obras de realce del jarillón de la margen izquierda del río Bogotá entre el Humedal Juan Amarillo y el Humedal la Conejera y el Concepto Técnico CT-6697 emitido para el Plan Parcial San José de Maryland que realiza un ajuste basado en el análisis de criterios principalmente de carácter geomorfológico, hidrológico e hidráulico, de acuerdo con la información disponible, el reconocimiento de campo y la adopción de algunas premisas fundamentales para garantizar la estabilidad de la evaluación.

El plano normativo de Amenaza por Inundación por desbordamiento (Figura 6.18), a la fecha contiene las zonas de amenaza alta, media y baja de: El río Tunjuelo, la quebrada Limas, la quebrada Chiguaza, el río Fucha, el río Juan Amarillo, los humedales Jaboque, Juan Amarillo, Conejera, Guaymaral y Torca y el río Bogotá.

Con la resolución 858 de 2013, el 4,2% de la ciudad continúa con amenaza por inundación por desbordamiento cambiando en poca proporción disminuyendo de 28% a 27% la amenaza alta, aumentando del 56% a 57% la media y manteniendo el 16% baja, tal como se muestra en la Figura 4.1 y se discretiza por localidad en Tabla 6.6

Áreas amenaza alta, media y baja por localidad:

Figura 6.17. Áreas en amenaza por Decreto 190 de 2004





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

Tabla 6.6. Áreas amenaza alta, media y baja por localidad

No.	LOCALIDAD	AREA	RES. 858 DE 2013		
			AMENAZA		
			ALTA (ha)	MEDIA (ha)	BAJA (ha)
1	USAQUEN	6520,14	30,27	0,00	
2	CHAPINERO	3800,89			
3	SANTA FE	4517,06			
4	SAN CRISTOBAL	4909,85	0,14	0,13	0,40
5	USME	21506,67	15,93	13,08	18,67
6	TUNJUELITO	991,09	60,06	90,64	92,47
7	BOSA	2393,32	224,19	1203,30	189,54
8	KENNEDY	3858,97	123,01	1401,52	91,46
9	FONTIBON	3328,10	110,01	262,82	323,71
10	ENGATIVA	3588,10	224,65	441,26	99,61
11	SUBA	10056,05	1031,27	428,78	173,62
12	BARRIOS UNIDOS	1190,34			
13	TEUSAQUILLO	1419,32			
14	LOS MARTIRES	651,40			
15	ANTONIO NARIÑO	487,95			
16	PUENTE ARANDA	1731,11			
17	CANDELARIA	206,02			
18	RAFAEL URIBE URIBE	1383,41	18,23	3,55	11,87
19	CIUDAD BOLIVAR	13000,26	31,49	20,60	95,64
20	SUMAPAZ	78096,88			
TOTAL		163636,96	1869,24	3865,68	1096,98
TOTAL ÁREA EN AMENAZA		6832			
PORCENTAJE DE AMENAZA EN LA CIUDAD			1,1%	2,4%	0,7%
PORCENTAJE RELATIVO DE AMENAZA			27%	57%	16%

Los cambios se resumen en la Tabla 6.7:

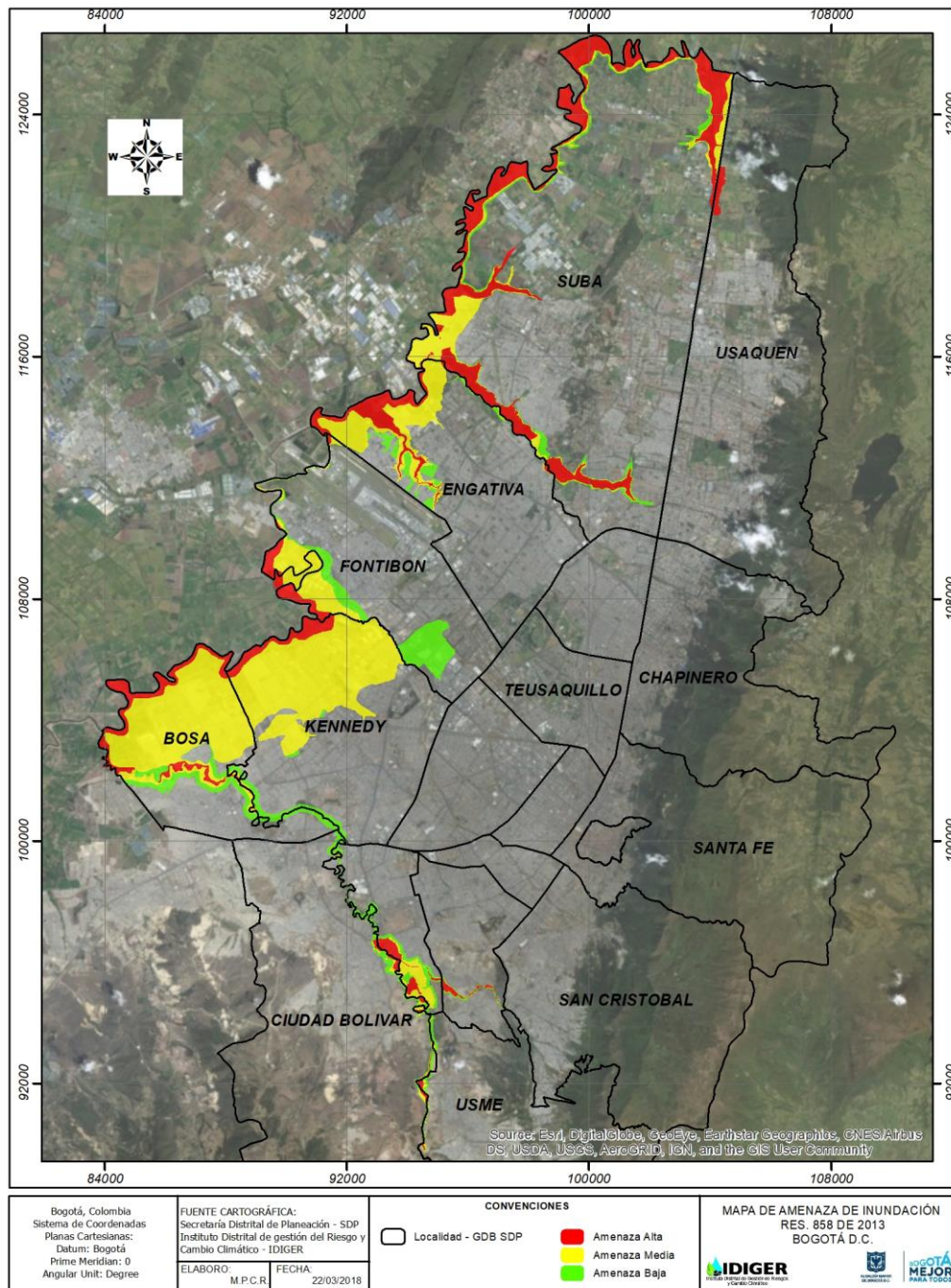
Tabla 6.7. Cambios de las Áreas amenaza alta, media y baja por localidad

No.	LOCALIDAD	DIFERENCIA DEC. 190 DE 2004			CAMBIOS
		AMENAZA			
		ALTA (ha)	MEDIA (ha)	BAJA (ha)	
1	USAQUEN	0	0	0	
2	CHAPINERO	0	0	0	
3	SANTA FE	0	0	0	
4	SAN CRISTOBAL	0	0	0	
5	USME	0	0	0	
6	TUNJUELITO	0	0	0	
7	BOSA	-7	10	-10	Aumenta la amenaza alta y cambia la baja a media en límites con Ciudad Bolívar
8	KENNEDY	0	0	0	
9	FONTIBON	0	0	0	
10	ENGATIVA	0	0	0	
11	SUBA	59	-59	0	Disminuye la amenaza alta pasando a media principalmente por el concepto de Gavilanes.
12	BARRIOS UNIDOS	0	0	0	
13	TEUSAQUILLO	0	0	0	
14	LOS MARTIRES	0	0	0	
15	ANTONIO NARIÑO	0	0	0	
16	PUENTE ARANDA	0	0	0	
17	CANDELARIA	0	0	0	
18	RAFAEL URIBE URIBE	0	0	0	
19	CIUDAD BOLIVAR	4	1	2	Disminuye la amenaza en un sector en los límites con bosa
20	SUMAPAZ	0	0	0	
TOTAL		55	-47	-9	De forma global baja la amenaza alta a media y un sector en baja



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

Figura 6.18. Mapa Vigente Amenaza por Inundación por desbordamiento (Resolución 858 de 2013)



Fuente: Proyecto POT, 2013

Página 92 de 306

6.3 INSTRUMENTOS GESTIÓN DE RIESGOS

A través de la emisión de conceptos técnicos de legalización y de planes parciales se lleva la zonificación de Amenaza por Inundación por desbordamiento a una escala detallada a nivel predial, por tal motivo puede realizarse modificaciones al mapa de Amenaza por Inundación correspondientes a un aumento de escala y no a la modificación de las condiciones de amenaza, con excepción de los casos en los cuales se realice un nuevo estudio de zonificación que respalde el concepto o la incorporación de medidas estructurales (obras de mitigación) que hagan necesario realizar una evaluación de la amenaza.

En la Tabla 6.8 y en la siguiente figura se presentan los conceptos técnicos de amenaza por inundación emitidos por el IDIGER (antes FOPAE) a partir de la expedición del Decreto 190 de 2004 por cada localidad, de los cuales el 75% corresponden a conceptos realizados para el programa de legalización y 22% a conceptos para planes parciales, dichos conceptos serán validados de acuerdo con la actualización del plano de amenaza por inundación que se está realizando. Información adicional de los conceptos es presentada en el Anexo 2. Base de Datos de Conceptos Técnicos.

Tabla 6.8. Conceptos de inundación emitidos por el IDIGER

No. Concepto	Localidad	Tipo	No. Concepto	Localidad	Tipo
CT-3094	Fontibón	Legalización	CT-4671	Kennedy	Plan parcial
CT-3321	Suba	Legalización	CT-4773	Engativá	Legalización
CT-3324	Suba	Legalización	CT-4781	Engativá	Legalización
CT-3386	Bosa	Legalización	CT-4798	Bosa	Legalización
CT-3387	Bosa	Legalización	CT-4888	Fontibón	Legalización
CT-3395	Bosa	Legalización	CT-5096	Kennedy	Plan parcial
CT-3400	Bosa	Legalización	CT-5100	Kennedy	Plan parcial
CT-3426	Kennedy	Legalización	CT-5202	Fontibón	Predio
CT-3430	Kennedy	Legalización	CT-5633	Bosa	Plan parcial
CT-3480	Engativá	Legalización	CT-5671	Fontibón	Plan parcial
CT-3481	Engativá	Legalización	CT-5807	Fontibón	Legalización
CT-3482	Engativá	Legalización	CT-5808	Fontibón	Legalización
CT-3483	Engativá	Legalización	CT-5809	Bosa	Legalización
CT-3487	Suba	Legalización	CT-5863	Bosa	Plan parcial
CT-3504	Bosa	Legalización	CT-5882	Bosa	Legalización
CT-3509	Suba	Legalización	CT-5883	Bosa	Legalización
CT-3534	Bosa	Legalización	CT-5885	Bosa	Legalización
CT-3535	Bosa	Legalización	CT-5886	Bosa	Legalización



**ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.**

AMBIENTE
Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático

No. Concepto	Localidad	Tipo	No. Concepto	Localidad	Tipo
CT-3544	Kennedy	Legalización	CT-5890	Bosa	Legalización
CT-3715	Kennedy	Legalización	CT-5891	Bosa	Legalización
CT-3719	Kennedy	Legalización	CT-5892	Bosa	Legalización
CT-3720	Kennedy	Legalización	CT-5893	Bosa	Legalización
CT-3723	Kennedy	Legalización	CT-5894	Bosa	Legalización
CT-3726	Engativá	Plan parcial	CT-5970	Fontibón	Legalización
CT-3727	Engativá	Plan parcial	CT-5971	Suba	Legalización
CT-3728	Suba	Plan parcial	CT-5986	Kennedy	Legalización
CT-3734	Bosa	Plan parcial	CT-5992	Bosa	Legalización
CT-3751	Engativá	Plan parcial	CT-6040	Santa fe	Plan parcial
CT-3786	Kennedy	Legalización	CT-6210	Fontibón	Legalización
CT-3787	Kennedy	Legalización	CT-6216	Fontibón	Legalización
CT-3788	Kennedy	Legalización	CT-6217	Fontibón	Legalización
CT-3789	Kennedy	Legalización	CT-6218	Fontibón	Legalización
CT-3790	Kennedy	Legalización	CT-6220	Fontibón	Legalización
CT-3797	Fontibón	Plan parcial	CT-6247	Fontibón	Plan parcial
CT-3834	Engativá	Plan parcial	CT-6472	Engativá	Legalización
CT-3862	Bosa	Plan parcial	CT-6473	Suba	Legalización
CT-3871	Bosa	Plan parcial	CT-6478	Suba	Legalización
CT-3872	Fontibón	Plan parcial	CT-6560	Bosa	Legalización
CT-3873	Kennedy	Plan parcial	CT-6624	Bosa	Legalización
CT-3876	Kennedy	Plan parcial	CT-6649	Bosa	Plan parcial
CT-3877	Bosa	Plan parcial	CT-6663	Bosa	Legalización
CT-3923	Bosa	Legalización	CT-6665	Bosa	Legalización
CT-3926	Bosa	Legalización	CT-6676	Bosa	Legalización
CT-3928	Engativá	Plan parcial	CT-6685	Bosa	Legalización
CT-3934	Bosa	Plan parcial	CT-6689	Fontibón	Legalización
CT-3936	Bosa	Plan parcial	CT-6691	Bosa	Legalización
CT-3938	Bosa	Plan parcial	CT-6693	Bosa	Legalización
CT-3939	Bosa	Plan parcial	CT-6695	Fontibón	Legalización
CT-3940	Bosa	Legalización	CT-6699	Bosa	Legalización
CT-3941	Bosa	Legalización	CT-6711	Fontibón	Legalización
CT-3942	Bosa	Legalización	CT-6721	Engativá	Legalización
CT-3943	Bosa	Legalización	CT-6739	Fontibón	Legalización
CT-3951	Engativá	Legalización	CT-6740	Fontibón	Legalización
CT-3952	Suba	Legalización	CT-6741	Fontibón	Legalización
CT-3962	Suba	Plan parcial	CT-6925	Bosa	Legalización

Página 94 de 306



GP-CER453497



CO-SC-CER453496



CO-SC-CER453496



CO-SA-CER366134

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

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



**ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.**

AMBIENTE
Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático

No. Concepto	Localidad	Tipo	No. Concepto	Localidad	Tipo
CT-3963	Kennedy	Plan parcial	CT-6926	Bosa	Legalización
CT-3992	Kennedy	Legalización	CT-6959	Bosa	Legalización
CT-3993	Kennedy	Legalización	CT-6960	Bosa	Legalización
CT-3994	Kennedy	Legalización	CT-6991	Fontibón	Legalización
CT-3998	Bosa	Legalización	CT-7027	Bosa	Legalización
CT-3999	Kennedy	Legalización	CT-7036	Suba	Legalización
CT-4047	Bosa	Legalización	CT-7037	Suba	Legalización
CT-4048	Bosa	Legalización	CT-7045	Kennedy	Predio
CT-4049	Bosa	Legalización	CT-7046	Bosa	Predio
CT-4050	Bosa	Legalización	CT-7047	Bosa	Predio
CT-4051	Bosa	Legalización	CT-7048	Kennedy	Predio
CT-4052	Bosa	Legalización	CT-7079	Bosa	Legalización
CT-4053	Bosa	Legalización	CT-7084	Bosa	Legalización
CT-4054	Bosa	Legalización	CT-7102	Bosa	Legalización
CT-4055	Bosa	Legalización	CT-7108	Bosa	Legalización
CT-4056	Bosa	Legalización	CT-7109	Bosa	Legalización
CT-4057	Bosa	Legalización	CT-7110	Bosa	Legalización
CT-4058	Bosa	Legalización	CT-7112	Bosa	Legalización
CT-4059	Bosa	Legalización	CT-7113	Bosa	Legalización
CT-4060	Bosa	Legalización	CT-7114	Bosa	Legalización
CT-4061	Bosa	Legalización	CT-7236	Bosa	Legalización
CT-4087	Bosa	Legalización	CT-7237	Bosa	Legalización
CT-4088	Bosa	Legalización	CT-7319	Kennedy	Plan parcial
CT-4156	Bosa	Legalización	CT-7516	Bosa	Legalización
CT-4169	Suba	Legalización	CT-7630	Bosa	Legalización
CT-4192	Suba	Legalización	CT-7633	Bosa	Legalización
CT-4195	Kennedy	Legalización	CT-7791	Bosa	Legalización
CT-4202	Bosa	Legalización	CT-7794	Bosa	Legalización
CT-4203	Fontibón	Legalización	CT-7799	Bosa	Legalización
CT-4290	Bosa	Plan parcial	CT-7802	Engativá	Legalización
CT-4291	Engativá	Plan parcial	CT-7915	Bosa	Legalización
CT-4309	Kennedy	Plan parcial	CT-7916	Bosa	Legalización
CT-4311	Fontibón	Plan parcial	CT-7919	Bosa	Legalización
CT-4312	Fontibón	Plan parcial	CT-7924	Bosa	Legalización
CT-4359	Kennedy	Legalización	CT-7925	Kennedy	Legalización
CT-4392	Engativá	Plan parcial	CT-7926	Bosa	Legalización
CT-4423	Bosa	Plan parcial	CT-7929	Kennedy	Legalización

Página 95 de 306



GP-CER453497



CO-SC-CER453496



CO-SC-CER453496



CO-SA-CER366134

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

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

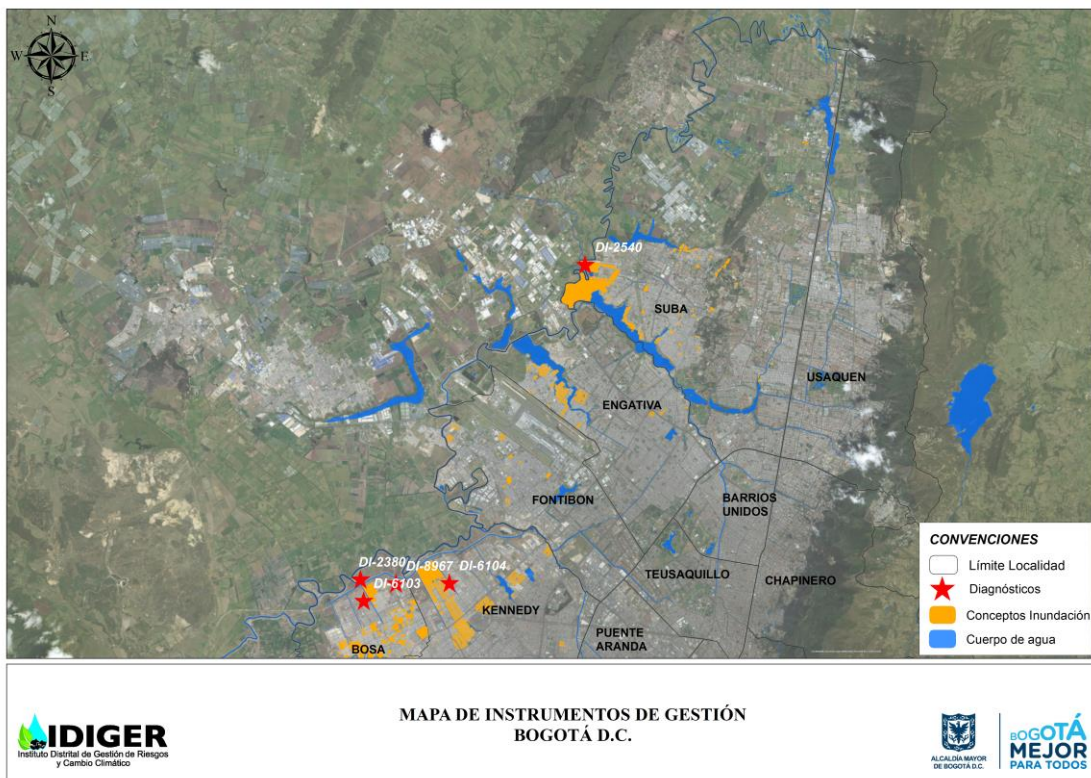


ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
AMBIENTE
Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático

No. Concepto	Localidad	Tipo	No. Concepto	Localidad	Tipo
CT-4424	Fontibón	Plan parcial	CT-7986	Fontibón	Legalización
CT-4429	Suba	Plan parcial	CT-7999	Engativá	Legalización
CT-4489	Kennedy	Plan parcial	CT-8045	Engativá	Legalización
CT-4492	Bosa	Plan parcial	CT-8068	Bosa	Plan parcial
CT-4624	Engativá	Predio			

De los conceptos presentados anteriormente el 46% ratifican el plano normativo por inundación (Decreto 190 de 2004), el 35% actualizan el plano normativo o son basados en estudios detallados de la zona y el 19% restante se encuentran fuera del área de amenaza por inundación por desbordamiento.

Figura 6.19. Conceptos Técnicos generados por el IDIGER



Asimismo el IDIGER (antes FOPAE) ha realizado visitas en atención de situaciones de emergencia, para las cuales se han emitido documentos técnicos. Esta información es incorporada en el presente documento, para establecer una secuencia cronológica de

eventos y acciones por parte del IDIGER, tal como se referencia a continuación en la Tabla 6.9:

Tabla 6.9. Diagnósticos de inundación sobre el río Bogotá emitidos por el IDIGER

Diagnóstico Técnico	Fecha	Localidad	Descripción
DI - 2380	23/05/2005	Bosa	Debido a las lluvias de 21y 22 de mayo el río Bogotá aumentó su caudal considerablemente, arrastrando gran cantidad de buchón y sedimento generando atascamiento en un puente aledaño, Como consecuencia de loa altos niveles, el Jarillón ubicado en el barrio La Florestica a la altura de la Cra 123 con calle 58 sur presenta tubificación del suelo con filtraciones notables. Se recomendó la evacuación preventiva de dos familias y mantenimiento de los Jarillones
DI - 2540	22/11/2005	Suba	En la visita se encontraron agrietamientos, deformaciones y asentamientos del realce del Jarillón de la margen izquierda del río Bogotá, producidos posiblemente por asentamientos diferenciales de mismo material que conforma el realce del nuevo Jarillón. Se recomendó a la Empresa de Acueducto y alcantarillado, implementar las medidas de reforzamiento y estabilidad del Jarillón
DI - 6103	06/12/2011	Bosa	Se presentó la inundación por reflujo con láminas de agua hasta de 1.20 metros de altura, en el sector comprendido por las Calles 58 Sur a Calle 75A Sur entre Carreras 92A a 106A aproximadamente, debido posiblemente a la sobrecarga de volúmenes de agua y/o caudales en el sistema de alcantarillado del Canal Cundinamarca y sus canales afluentes que tienen la función de drenar gran parte de las localidades de Bosa y Kennedy, lo cual conllevó a sobrepasar la capacidad máxima de almacenamiento del sistema en comento, generando el reflujo del sistema por las redes menores de alcantarillado de aguas lluvias. Se recomendó a la CAR, adelantar las gestiones pertinentes desde su competencia, que permitan priorizar y agilizar la adecuación hidráulica del río Bogotá, en el que se incluyan entre otras, la adquisición y adecuación de áreas para permitir de manera oportuna las inundaciones controladas y la amortiguación de crecientes; así como el aumento de la capacidad hidráulica del río

Página 97 de 306



**ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.**

AMBIENTE
Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático

Diagnóstico Técnico	Fecha	Localidad	Descripción
			A la EAB - ESP desde sus competencias, adelantar los análisis de riesgos y planes de contingencias respectivos en el marco del Decreto 332 de 2004 (Artículos 15 y 16), en los que se incluyan entre otros escenarios de daños y áreas de afectación ante la falla funcional de las estaciones elevadoras.
DI - 6104	06/12/2011	Kennedy	Se presentó la inundación por reflujo con láminas de agua hasta de 1.20 metros de altura, en el sector comprendido por las Calles 58 Sur a Calle 75A Sur entre Carreras 92A a 106A aproximadamente, debido posiblemente a la sobrecarga de volúmenes de agua y/o caudales en el sistema de alcantarillado del Canal Cundinamarca y sus canales afluentes que tienen la función de drenar gran parte de las localidades de Bosa y Kennedy, lo cual conllevó a sobrepasar la capacidad máxima de almacenamiento del sistema en comento, generando el reflujo del sistema por las redes menores de alcantarillado de aguas lluvias hacia las vías, parqueaderos, zonas comunes y zonas residenciales del sector de Tierrabuena de la localidad de Kennedy, ubicados en las áreas de influencia de los canales Calle 38 sur y Américas, desde la Avenida Longitudinal de Occidente – ALO, paralela al Canal Cundinamarca, hasta inmediaciones de la Carrera 106^a Se recomendó a la CAR, adelantar las gestiones pertinentes desde su competencia, que permitan priorizar y agilizar la adecuación hidráulica del río Bogotá, en el que se incluyan entre otras, la adquisición y adecuación de áreas para permitir de manera oportuna las inundaciones controladas y la amortiguación de crecientes; así como el aumento de la capacidad hidráulica del río, de acuerdo con los resultados y recomendaciones establecidas en el proyecto FIAB a su cargo. A la EAB desde sus competencias, adelantar los análisis de riesgos y planes de contingencias respectivos en el marco del Decreto 332 de 2004 (Artículos 15 y 16), en los que se incluyan entre otros escenarios de daños y áreas de afectación ante la falla funcional de las estaciones elevadoras.
DI - 8967	20/01/2016	Bosa	En la visita técnica realizada el día 20 de enero de 2016, se evaluó de forma cualitativa las condiciones de estabilidad del predio nombrado “La Marranera” de la Localidad de Bosa con el fin de analizar la posibilidad de recomendar la inclusión en el programa de reasentamiento de familias que se encuentran

Página 98 de 306



GP-CER453497



CO-SC-CER453496



CO-SC-CER453496



CO-SA-CER366134

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

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



**ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.**

AMBIENTE
Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático

Diagnóstico Técnico	Fecha	Localidad	Descripción
			el condición de riesgo. Se recomendó evacuar e incluir con prioridad técnica uno (1) en el programa de reasentamiento de Familias Ubicadas en Zona de Alto Riesgo No Mitigable

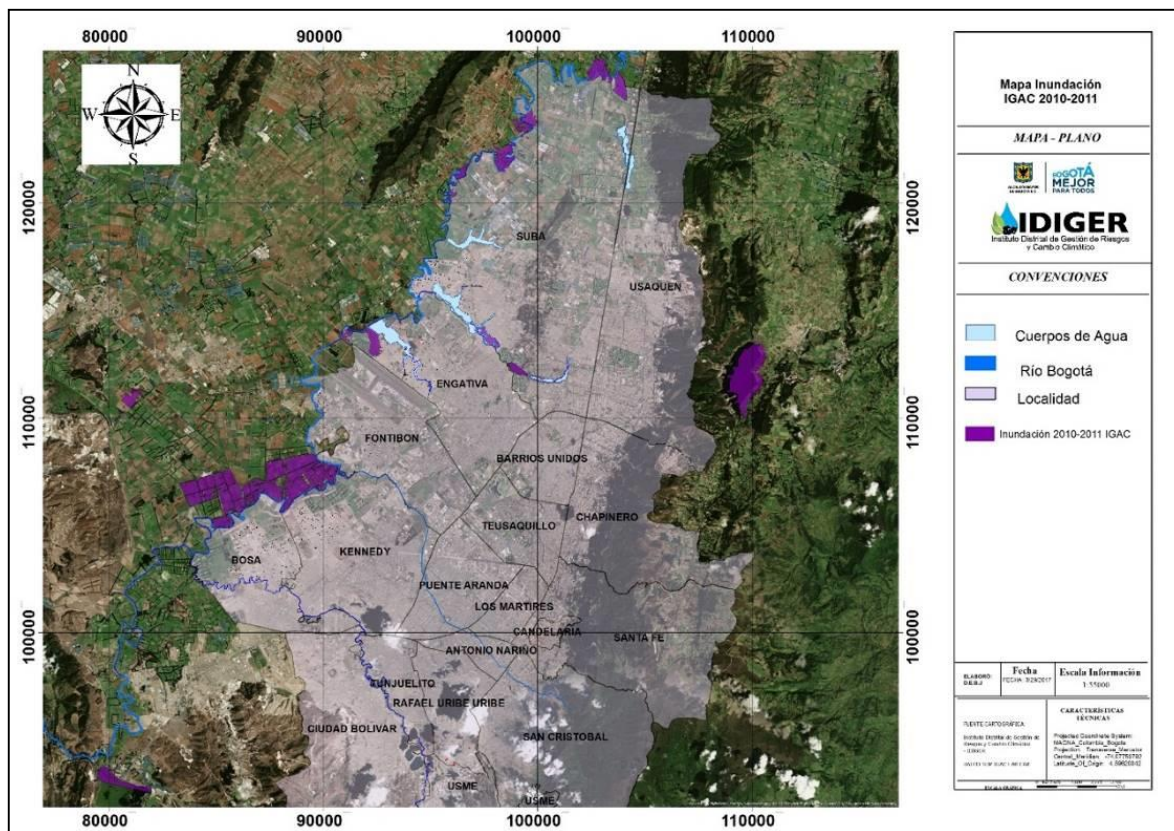
Información adicional de los diagnósticos es presentada en el Anexo 3. Base de Datos de Diagnósticos Técnicos.

El Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM y el Departamento Administrativo Nacional de Estadística– DANE, en el 2012 elaboraron la memoria técnica denominada “Evaluación, análisis y seguimiento de las afectaciones por inundaciones asociadas al Fenómeno de la Niña 2010-2011” cuyo objetivo fue la determinación de las áreas inundadas, generar una herramienta que le permitiera dimensionar geográficamente la afectación por la inundaciones presentadas, utilizando para ello tecnología geoespacial como percepción remota la cual brindó por medio de interpretación visual y procesamiento digital de imágenes satelitales y aerotransportadas, la georreferenciación de las zonas afectadas. Esta información fue insumo para la generación de cartografía temática y el cálculo de estadísticas de afectación y se constituyó en soporte para las entidades del Sistema Nacional de Prevención y Atención de Desastres –SNPAD– en la toma de decisiones, en el marco de la declaratoria del estado de emergencia económica, social y ecológica por razón de grave calamidad pública.

El IGAC, a partir de su cartografía define la extensión de la zona inundada y la analiza con base en registros históricos, diferenciando los cuerpos de agua en sus niveles normales, las áreas inundables en la estación invernal recurrente y el exceso de inundación ocurrido. Con instrumentos e información espacial se interpretaron 45,9 millones de hectáreas (66,3% del territorio nacional continental), y se encontraron inundadas 3,5 millones, de las cuales 19% son cuerpos de agua (ríos, lagunas, pantanos, etcétera), 34,4% son terrenos que se inundan de manera periódica, y un exceso de inundación de 46,6% (1.642.108 hectáreas). La mayor proporción del área inundada se presentó en la zona norte y en parte de las zonas central y sur del país. En la siguiente figura se puede observar las zonas inundadas identificadas por el IGAC para la ciudad de Bogotá en las Localidades de Bosa, Engativá, Kennedy y Suba en el año 2010 - 2011



Figura 6.20. Zonas inundadas identificadas por el IGAC para la ciudad de Bogotá en las localidades de Bosa, Engativá, Kennedy y Suba en el año 2010 - 2011



7 METODOLOGÍA

La gestión tradicional de inundaciones se centra en la atenuación de los efectos y la reducción de la vulnerabilidad frente a las inundaciones inmediatamente después de la ocurrencia de desastres. La gestión ha recurrido a intervenciones estructurales y no estructurales, así como a intervenciones institucionales. Éstas se han llevado a cabo antes, durante y después de una inundación y, a menudo, se han solapado (APFM, et al., 2009). Las medidas estructurales siguen teniendo relevancia en la mitigación del riesgo de inundaciones en zonas ya urbanizadas y en la adecuación de terrenos a desarrollar en el futuro.

Las estrategias de gestión del riesgo convencionales pretenden evitar que aparezcan nuevos riesgos y reducir los riesgos existentes. Para evitar nuevos riesgos, las alternativas no estructurales o medidas preventivas se basan en los planes directores, las evaluaciones de impacto ambiental con análisis de riesgo, entre otros. Dentro de las posibles medidas estructurales y no estructurales, caben todas aquellas que disminuyan

Página 100 de 306

en gran medida la vulnerabilidad como la aplicación de normas constructivas resistentes o con ajustes para zonas de riesgo con la instalación de diques.

La Tabla 8.3 muestra varios ejemplos de gestión tradicional del riesgo de inundaciones. En el caso de la reducción de los riesgos existentes, cobran importancia las medidas de actuación estructurales que atiendan la exposición o vulnerabilidad. Por ejemplo, la reubicación de edificaciones, poblaciones, refuerzos estructurales y elevación de cotas para construcción de pisos. Dentro de las alternativas no estructurales es importante fortalecer los planes de vigilancia, alerta temprana, alarma y evacuación, que sólo cobran valor cuando se acompañan de educación a la población.

Tabla 7.1. Ejemplos de gestión tradicional de las inundaciones

Intervenciones	Ejemplos	Comentario
Reducir la escorrentía	Pavimentos permeables, reforestación, recarga de acuíferos	Depende de las características de terreno y de las condiciones de saturación del suelo antes del evento extremo
Almacenamiento para laminar los picos de escorrentía	Humedales, depósito de agua de lluvia, embalses	Puede presentarse conflicto de intereses en estructuras multipropósito como los embalses. El almacenamiento debe utilizarse en combinación con otras medidas estructurales y no estructurales de gestión, tanto en la planificación como en la operación de actividades de liberación de agua.
Aumento de la capacidad de transporte	Canalizaciones de derivaciones de avenidas, canales más profundos o más anchos	Modificar la morfología natural y los ecosistemas afectan los usos del río y tiende a desplazar el problema en el tiempo y espacio. La profundización puede afectar el régimen de aguas subterráneas. Los diques y muros son apropiados en áreas inundables ya habitadas o cuando el riesgo residual se contrarresta con los peligros de habitar otras áreas.
Sistemas de protección entre ríos y poblaciones	Control del uso del suelo, diques, protección de elementos situados en zona inundable, determinación de zonas, elevación de casas	Cuando el desarrollo no es oficial, es poco probable su eficacia. Dependiendo de las características de ocupación, los tiempos de alerta de inundación, o la frecuencia de inundaciones será recomendable ejercer restricciones en cuanto a la elevación de las casas, protección de infraestructura etc.
Gestión de emergencias durante las inundaciones	Avisos de inundaciones, trabajos urgentes para levantar o	Estas medidas son complementarias a todo tipo de intervención. Y pretenden generar una adecuada concientización hacia la preparación de cómo actuar en caso de inundación. Para que funciones el



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.

AMBIENTE
Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático

Intervenciones	Ejemplos	Comentario
	reforzar los diques, protección de elementos situados en zona inundable, evacuación	sistema de alerta es necesaria la educación y la participación activa de la población en la planificación. Adicionalmente se debe garantizar los servicios básicos en los sitios de refugio destinados.
Recuperación después de la crecida	Asesoramiento, compensaciones o seguros	---

Fuente: APFM, et al., 2009

Los enfoques tradicionales han protegido a las sociedades de muchos riesgos de desastres por inundaciones en el pasado. Sin embargo, también se han encontrado problemas o dificultades para su sostenibilidad en el tiempo. Entre las principales limitaciones destacan su baja flexibilidad y adaptabilidad con otras alternativas y opciones de gestión del riesgo de inundaciones; y su planteamiento reactivo en lugar de ser proactivo. Es decir, sólo se empieza a aplicar cuando ya ha ocurrido una catástrofe, hace énfasis en medidas estructurales y monodisciplinarias que se alejan de una visión más ecosistémica y de múltiples factores influyentes y tienden a basarse en enfoques que desconocen las lecciones aprendidas del pasado. Todas ellas son limitaciones del enfoque tradicional.

Las tendencias actuales de gestión del riesgo de inundación parten de las herramientas antes mencionadas pero incluyen nuevas aproximaciones en los modelos de evaluación del riesgo, constituyen planes de manejo del riesgo que acoplan mejor las etapas de gestión de desastres para diferentes grados de responsabilidad, se emplean modelos conceptuales más detallados y diversos, dependiendo del tipo de información a obtener; se evoluciona en la forma de recolectar y transmitir datos en tiempo real para las predicciones sobre inundaciones y se plantean alternativas de diseño estructural que rescatan los servicios de los ecosistemas como la restauración fluvial, igualmente se empiezan a considerar en los estudios el análisis de incertidumbres creadas por los posibles efectos del cambio climático y se innova en los desarrollos tecnológicos para hablar de mejor adaptación y mayor resiliencia frente a inundaciones en áreas urbanizadas.

7.1 ESTADO DEL ARTE

A nivel mundial la evaluación del riesgo de inundación se lleva a cabo en base a cartografía (Mapas de Riesgo de Inundación – MRI) que permite identificar las áreas geográficas susceptibles a sufrir daños (Varnes, 1984); (Carrara, et al., 1991); (Barredo, et al., 2000); (Bell, et al., 2004); (Bonachea P, 2006) & (Remondo, et al., 2005)].

Es poco frecuente que los mapas tengan un significado cuantitativo estricto y todavía menos, un valor de predicción contrastado independientemente. Además, ese tipo de

Página 102 de 306

documentos presenta el inconveniente de su carácter “estático”, ya que reflejan la situación existente en una fecha dada. Eso puede ser un problema, ya que la exposición, los daños económicos y la pérdida de vidas pueden variar fuertemente en el tiempo. Por ello, se están desarrollando herramientas dinámicas, que puedan actualizarse permanentemente de manera sencilla, de tal forma que reflejen en todo momento la realidad del territorio analizado y los valores monetarios potencialmente afectados (Mendiondo, 2005). Es decir, actualizar la vulnerabilidad.

También se adelantan desarrollos tecnológicos que mejoran la recolección y procesamiento de datos de clima para generar modelos de predicción y alerta más veraces en relación con la variabilidad climática y frente al cambio climático.

Los MRI llevan a la delimitación de zonas, en función de la frecuencia o intensidad de una inundación, pudiendo integrarse los resultados en otro tipo de cartografía, en donde se expresa la mayor o menor vulnerabilidad de diferentes fragmentos del territorio (Gozales, 2008). La información derivada de los MRI puede ser utilizada como instrumento de ordenación territorial, planeamiento urbano, selección de infraestructuras públicas, gestión de emergencias, etc. Dependiendo de las características particulares de los casos, la evaluación del riesgo de inundación requiere de la realización de los siguientes estudios (Silva, 2003).

Tabla 7.2. Estudios requeridos para la evaluación de inundaciones

Estudio	Características
Delimitación de las zonas de estudio	Se hace usando recopilando cartografía, fotografías aéreas, MDTs, LIDAR, topografía de campo, inventario de eventos anteriores.
Inventario de causas de inundación	Ubicar puntos conocidos de desbordamiento, encharcamiento, con deficiencias de drenaje, avalanchas, obstrucción o sedimentación.
Estudios geológicos, geotécnicos, socioeconómicos, ambientales	Delimitar cuencas vertientes, uso del suelo, cobertura vegetal y las corrientes naturales que afectan la zona que se va a proteger, cuantificar clima, lluvias, caudales, aspectos demográficos, vulnerabilidad etc.
Estudio geomorfológico	Debe orientar sobre la extensión potencial de la inundación y la existencia de vías de flujo desbordado principales
Estudio de inundaciones históricas	Para apoyar y confirmar resultados de estudio geomorfológico y elemento de calibración de estudios posteriores.
Estudio hidrológico de caudal de inundación	Para determinar caudales asociados a distintos periodos de retorno, con modelos de tipo hidrometeorológico, si existe estación de aforos con suficientes datos, también es posible el uso de métodos estadísticos.
Estudio hidráulico fluvial	Para determinar las capacidades hidráulicas de los cauces, puntos de desbordamiento, estabilidad de trayectoria, tendencias futuras, incidencia de obras existentes y

Estudio	Características
	proyectadas. Los modelos de cálculo deben ser acordes a la problemática a resolver (1D, 2D, permanente, transitorio)
Estudios de pérdidas económicas, ambientales y sociales.	Cuantificar los perjuicios que han causado inundaciones anteriores y estimar los perjuicios a cada T. Establecer niveles de riesgo
Cartografía de detalle del riesgo de inundación	Dejar indicadas las zonas de riesgo, de los cauces, conos de inundación, zonas de acumulación de agua, vías de intenso desagüe.

Fuente: Sedano, R. 2012 Gestión integrada del riesgo de inundaciones en Colombia

A nivel mundial se han desarrollado varios métodos de evaluación del riesgo de inundación basados en la elaboración de MRI, estas metodologías generalmente se basan en la determinación de valores límites para la profundidad del agua, la velocidad del flujo o una combinación de estos dos parámetros. Además, tienen en cuenta la frecuencia de los eventos en términos de los periodos de retorno. Sin embargo, las metodologías difieren entre sí en los requerimientos de información y los criterios establecidos para la zonificación de la amenaza, en los que principalmente se varían los rangos de amenaza debido a la diferencia entre valores límites adoptados (CVC-Univalle, 2010).

Algunas de las metodologías que han sido desarrolladas se relacionan a continuación:

A. Metodología establecida por la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones de España, 1995.

Propuesta en España (1995), considera las características de vulnerabilidad de la población y de los elementos (edificios, instalaciones, infraestructuras y elementos naturales o ambientales), su ubicación y las características hidráulicas de la creciente que genera el desbordamiento (profundidad del agua, velocidad del flujo, caudal sólido transportado y duración de la inundación). En esta metodología las zonas potencialmente inundables, de acuerdo con la amenaza de inundación se clasifican en: Zonas A de alto riesgo, Zonas B de riesgo significativo, Zonas C de riesgo bajo.

B. Metodología adoptada por la Agencia Catalana del Agua, 2003.

Se presenta en la guía “Recomendaciones Técnicas para los Estudios de Inundabilidad Locales” (Agencia Catalana de Agua, 2003) y propone la siguiente clasificación de las zonas potencialmente inundables: Zonas de Inundación Alta, Zonas de Inundación Media y Zonas de inundación baja.

C. Metodología planteada por el Plan de Acción Territorial de Carácter Sectorial sobre Prevención del Riesgo de Inundación en la Comunidad Valenciana, PATRICOVA, 2002.

Metodología que define 6 niveles de amenaza de acuerdo con la frecuencia de ocurrencia del evento que genera el desbordamiento y la profundidad que alcanza la columna de agua en la llanura de inundación.

Para la definición de los niveles de amenaza deben considerarse tres frecuencias de ocurrencia de crecientes: Frecuencia Alta, Frecuencia Media y Frecuencia Baja, y dos profundidades de la columna de agua en la planicie: Profundidades Altas y Profundidades Bajas.

D. Metodología propuesta en el Plan Medioambiental del río Ebro y tramo bajo del río Cinca (Gobierno de Aragón - Iberinsa, 2005)

Esta metodología fue propuesta en el año 2005 y plantea la implementación de dos procedimientos para la evaluación de la amenaza debido a inundaciones.

- Un procedimiento simplificado aplicable para las situaciones de amenaza baja, en donde no se espera que se presenten daños importantes.
- Un procedimiento general que debe implementarse cuando los bienes amenazados son de alta vulnerabilidad

E. Metodología aplicada por el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales. Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación Proyecto MET-ALARN INETER/COSUDE "Inundaciones Fluviales Mapas de Amenaza" Recomendaciones técnicas para su elaboración. Managua, Nicaragua, agosto de 2005.

Esta metodología fue aplicada por el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales en Managua, Nicaragua, en el año 2005. A su vez, dentro de esta metodología existen diversos criterios para la evaluación de la amenaza, los cuales se mencionan a continuación.

- Criterios para la evaluación de la intensidad o magnitud de la inundación
- Criterios para la evaluación de la frecuencia, recurrencia o periodo de retorno de la inundación.
- Determinación de los niveles de amenaza por inundaciones

F. Metodología aplicada en el cono aluvial del cauce Jones Creek y propuesta por Kerr Word Leital Associates Limited para el Departamento de Obras Públicas del Condado de Whatcom (Estados Unidos, 2004).

La metodología empleada en el proyecto MIDAS para la Zonificación de amenazas escenarios de riesgo por movimientos en masa, inundaciones y crecientes torrenciales, del área urbana y de expansión de los municipios de Buga, Riofrío,

Dagua, el Cairo y la Unión fue la propuesta por R. García, J.J. Rodríguez y J.S. O'Brien (2001).

G. Evaluación y mitigación del riesgo de inundación en Norte América

La evaluación del riesgo de inundación está a cargo del USACE (Cuerpo militar de ingenieros de USA), el NIFP (Programa Nacional de Seguros para inundaciones) y la FEMA (Agencia Federal de Gestión de Emergencias). Las metodologías de cuantificación del caudal de inundación dependen de la probabilidad de ocurrencia del evento y de la disponibilidad de información. El calado alcanzado por el agua es determinado con el modelo hidráulico HEC-RAS que es la herramienta desarrollada por el USACE para este fin. La información anterior se combina con información topográfica para generar mapas de amenaza utilizados por FEMA en la cuantificación de los daños potenciales y otros aspectos. La metodológica que emplea el USACE, el NFIP y otras agencias en la estimación de las pérdidas consiste en tres pasos básicos que involucran (Scawthorn, 1999):

- Definir la amenaza, normalmente se logra con la determinación de la probabilidad de excedencia y la determinación de la descarga asociada.
- Determinar la profundidad de inundación en cada zona de interés, basándose en consideraciones hidrológicas y topográficas, cuya curva resultante es denominada curva de calificación.
- Para cada estructura y/o zona de interés, determinar el daño asociado con cada periodo de retorno. El daño es determinado por curvas daño-calado, desarrolladas por USACE, datos del NFIP o por terceros.

H. Metodología propuesta por R. García, J.J. Rodríguez Y J.S. O'Brien (2001)

La metodología desarrollada por García et al. (2003-2005), que se propuso por primera vez en el proyecto PREVENE (2001), en el cual la metodología se aplicó a dos abanicos aluviales en Caracas, Venezuela, y luego se adaptó y aplicó a otro abanico aluvial urbanizado para la delimitación de mapas de amenaza. Esta metodología se basa en normas de Suiza y Austria que establecen tres zonas para la delineación del nivel de amenaza por inundaciones: alta, media y baja.

El nivel de amenaza en un lugar determinado está en función tanto de la intensidad como de la probabilidad de la inundación. La intensidad de la inundación está definida por la profundidad y el producto de profundidad por la velocidad del flujo. La probabilidad es inversamente proporcional a la magnitud de la inundación. Por eso, los grandes eventos ocurren con menor frecuencia, pero poseen alta intensidad relativa a la profundidad y a la velocidad del flujo, mientras que los eventos pequeños son más frecuentes, pero menos dañinos. El nivel de la amenaza se define, entonces, como

una función discreta que combina la intensidad (magnitud del evento) y el periodo de retorno (frecuencia).

A nivel nacional, se cuenta con las siguientes experiencias más representativas.

- I. *Metodología para la Zonificación de Amenaza y Riesgo por Avenidas Torrenciales en la Cabecera Municipal de Florida-Valle del Cauca. Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, CVC - Instituto de Investigaciones en Geociencias Minería y Química, Ingeominas. Convenio CVC-984/96 Ingeominas I-024. Santa Fé de Bogotá, Marzo de 1998.*

Esta metodología fue empleada para la zonificación de amenaza y riesgo por avenidas torrenciales en la cabecera municipal de Florida, Valle del Cauca, en marzo de 1998. En este estudio, el alcance establecido permite obtener la cuantificación de los elementos expuestos afectados y la estimación del nivel de pérdidas de los mismos, lo cual lleva a establecer la condición de riesgo en que se encuentra la población para el caso específico.

- J. *Inundación en la Llanura Aluvial del Río Cauca. Proyecto de Modelación Río Cauca. PMC. Colombia.*

Río Cauca presenta una longitud total de 1.350 Km y una cuenca hidrográfica aproximada de 63.300 Km². el PMC fue concebido por la CVC (Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca), como una herramienta de planeación y gestión del más valioso recurso hídrico de la región, cuyo objetivo es adelantar los estudios de caracterización hidráulica, sedimentológica, geológica morfológica y de calidad del agua; implementar un sistema integrado de modelación matemática del río Cauca en el tramo Salvajina - La Virginia; y, estimar y evaluar los impactos sobre el río originados por las diferentes intervenciones a las que viene siendo sometido, así como los efectos por las obras que se proyectan para fines de aprovechamiento, control, recuperación y conservación. La etapa III del proyecto corresponde a estudios y aplicaciones del modelo para diferentes propósitos (control de inundaciones, navegación, embalses de regulación en tributarios, operación de Salvajina, calidad del agua, etc.). (CVC, et al., 2007).

Para la elaboración de la cartografía de riesgo se implementó la metodología simplificada propuesta por la Comunidad Autónoma de Valencia, PATRICOVA ya que los criterios son aplicables a la planicie de inundación de río Cauca. Los mapas de inundación se elaboraron para periodos de retorno 10, 25, 100 y 500 años, utilizando el modelo hidráulico (MIKE11-GIS), los resultados de la modelación hidrodinámica con MIKE11 y el Modelo Digital de Elevaciones de Terreno de la zona de estudio (DEM). Es necesario indicar que el estudio no incluye un análisis detallado de la vulnerabilidad real de los elementos ubicados en la llanura de inundación y que como en todo

proyecto de investigación, se encuentran limitaciones que deben considerarse en futuros estudios de mejora (CVC, et al., 2007).

La selección de los caudales extremos asociados a los diferentes periodos de retorno siguió un método estadístico con datos de las estaciones hidrométricas, ubicadas sobre el río Cauca. Se utilizó una distribución Gumbel y las series de datos a partir de la puesta en funcionamiento del embalse de Salvajina que modificó el comportamiento del río en adelante.

K. Acuerdo N° 48 de 2014, Por medio del cual se adopta la revisión y ajuste de largo plazo del Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Medellín y se dictan otras disposiciones complementarias

Las zonas de amenaza por inundaciones se clasifican en cuatro categorías: muy baja, baja, media y alta. el área rural no se identificaron zonas de amenaza muy baja ni zonas de amenaza baja.

- Zonas de amenaza muy baja (ZAIMB). Corresponden a franjas con amenaza por inundaciones por escorrentía y/o encharcamiento, generalmente de pendientes onduladas a planas, por donde antes existían expresiones de drenajes o depresiones, que hoy se encuentran intervenidos por procesos urbanísticos. La morfología de estas zonas puede ser ligeramente deprimida con respecto al entorno, situación que favorece la acumulación de la escorrentía y puede afectar bienes, si la red de alcantarillado de aguas lluvias o combinadas no es suficiente para drenar estas áreas, especialmente durante lluvias de intensidad media o críticas. Dentro de esta categoría también se incluyen los deprimidos de los intercambios viales que se inundan con frecuencia. Para efectos de la gestión del riesgo, se considera que este tipo de amenaza es muy baja, porque es poco probable que se presenten pérdidas de vidas humanas. Se pueden presentar afectaciones a bienes muebles e inmuebles
- Zonas de amenaza baja (ZAIB). Comprenden aquellas áreas con amenaza por inundación lenta que se encuentran dentro de la zona de influencia del río Medellín y que se asocian a las quebradas o drenajes con pendientes bajas. Se considera que este tipo de amenaza es baja, porque ocupa las planicies de inundación durante periodos cortos de tiempo, comúnmente afectan bienes e infraestructura y en general no hay pérdida de vidas humanas. En estas zonas, deberá respetarse el retiro establecido en el Mapa 4. Estructura Ecológica Principal; se debe tener en cuenta para el desarrollo de proyectos urbanísticos en las áreas aledañas al río Medellín, puesto que puede generar inundaciones lentas.
- Zonas de amenaza media (ZAIM). Corresponden a algunas franjas de terrenos con amenaza por inundación por desbordamiento y/o socavación, con diferente

grado de pendiente que, por el aumento del caudal, el agua sobrepasa las barreras naturales o artificiales que la limitan y se rebosa, afectando los sectores aledaños. Las inundaciones por desbordamiento y/o socavación, pueden causar daños en edificaciones, infraestructura, espacios públicos e incluso pérdida de vidas. La recurrencia de este tipo de eventos en la ciudad es frecuente en aquellos drenajes cuyos cauces y estructuras hidráulicas han sido ocupados de manera indebida.

- Zonas de amenaza alta (ZAIA). Corresponden a franjas de terreno con pendientes variables, susceptibles a ser afectadas por inundaciones lentas y/o desbordamientos originados por lluvias intensas, en las cuales han existido antecedentes o se carece de estructuras hidráulicas de protección. En este tipo de zonas el flujo puede sobrepasar sus límites naturales o cualquier obra hidráulica o de protección realizada, afectando las edificaciones localizadas sobre éstas o en sus márgenes.
- L. Acuerdo N° 0373 de 2014 "Por medio del cual se adopta la revisión ordinaria de contenido de largo plazo del plan de ordenamiento territorial del Municipio de Santiago de Cali"
- *Zonas de Amenaza no Mitigable por Inundaciones del Río Cauca.* Son los terrenos ubicados entre el dique y la orilla izquierda del río Cauca, desde la desembocadura del Canal Interceptor Sur hasta la desembocadura del río Cali, incluyendo la estructura completa del jarillón de la margen izquierda del río Cauca, y aquellas zonas de la margen izquierda del río Cauca entre la desembocadura del río Jamundí y la desembocadura del Canal Interceptor Sur para las cuales, de acuerdo con los resultados de los estudios previstos en el Parágrafo 1 de este Artículo, no sea posible por razones ambientales, técnicas o económicas mitigar la amenaza por inundaciones.

Manejo de las Zonas de Amenaza No Mitigable por Inundaciones del Río Cauca. Las viviendas existentes tanto en las zonas de amenaza no mitigable por inundaciones del Río Cauca descritas en el Artículo 33, como en aquellas que de acuerdo con las evaluaciones previstas en ese mismo Artículo sean clasificadas en la misma categoría, deberán ser relocalizadas, una vez se haya definido un plan financiero y de ejecución y exista un lugar adecuado para tal fin. Liberados los terrenos, se procederá de inmediato con la demolición de construcciones y con la ejecución de las obras civiles necesarias para garantizar el correcto funcionamiento hidráulico del cauce, sus bermas y diques.

En este tipo de zonas no se permitirá el emplazamiento de ningún tipo de infraestructura o amoblamiento público o privado, con la excepción de puentes,

obras de protección contra inundaciones, bocatomas de acueductos, elementos de sistemas de drenaje pluvial y demás obras fluviales. Al occidente de la cara seca del jarillón se permitirán adecuaciones tales como parques, escenarios deportivos, amoblamientos y ciclorrutas, entre otros, previo concepto favorable de la autoridad ambiental competente.

- *Zonas de amenaza no mitigable por inundación de los Afluentes del Río Cauca.* Son los terrenos ubicados entre los diques marginales del Canal Interceptor Sur, desde la intersección de la Calle 25 y la Carrera 50 hasta su desembocadura, y del río Cali, desde la Calle 70 norte hasta su desembocadura, incluyendo la estructura completa de dichos diques, el área que cubre el embalse del río Cañaveralejo y aquellas zonas aledañas a los cauces de la red hídrica afluente al río Cauca para las cuales, de acuerdo con los resultados de los estudios previstos en el Parágrafo 1 de este Artículo, no sea posible por razones ambientales, técnicas o económicas mitigar la amenaza por inundaciones.

Manejo de las Zonas de Amenaza No Mitigable por Desbordamiento de Afluentes del Río Cauca. Las viviendas existentes tanto en las zonas de amenaza no mitigable por desbordamiento de afluentes del río Cauca descritas en el Artículo 35, como en aquellas que de acuerdo con las evaluaciones previstas en dicho Artículo sean clasificadas en la misma categoría, deberán ser relocalizadas, una vez se haya definido un plan financiero y de ejecución y exista un lugar adecuado para tal fin. Liberados los terrenos, se procederá de inmediato con la demolición de construcciones y con la ejecución de las obras civiles necesarias para garantizar el correcto funcionamiento hidráulico del cauce, sus bermas y diques.

En este tipo de zonas no se permitirá el emplazamiento de ningún tipo de infraestructura o amoblamiento, público o privado, con la excepción de puentes, obras de protección contra inundaciones, bocatomas de acueductos, elementos de sistemas de drenaje pluvial y demás obras fluviales. En las zonas contiguas a las caras secas de los jarillones de los afluentes del río Cauca se permitirán adecuaciones tales como parques, escenarios deportivos, amoblamientos y ciclorrutas, entre otros, previo concepto favorable de la autoridad ambiental competente.

- *Zonas de Amenaza No Mitigable por Inundación Pluvial.* Son los terrenos incluidos dentro de la franja de treinta (30) metros de ancho que rodea las lagunas El Pondaje y Charco Azul, medidos desde la línea de máximo nivel que alcanzarían estos cuerpos de agua durante una lluvia con periodo de retorno (Tr) de cincuenta (50) años. Las edificaciones de todo tipo existentes en las zonas de riesgo no mitigables por inundación pluvial deberán ser

localizadas una vez se haya definido un Plan Financiero y de ejecución y exista un lugar adecuado para tal fin. Liberados los terrenos se procederá de inmediato con la demolición de construcciones y con la ejecución de procesos de adecuación de estas franjas como zonas de aislamiento de las lagunas.

En este tipo de zonas no se permitirá el emplazamiento de ningún tipo de infraestructura o amoblamiento, público o privado, con la excepción elementos propios del sistema de drenaje pluvial.

M. Metodología de evaluación amenaza de inundación desarrollada por la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga – CDMB en la Resolución 1294 de 29 de diciembre de 2009 “Por medio de la cual se adopta el Manual de Normas Técnicas para el Control de Erosión y para la realización de estudios geológicos, geotécnicos e hidrológicos en el área de jurisdicción de la CDMB”

- Períodos de recurrencia: Se deben analizar como mínimo los siguientes periodos de recurrencia:
 - ✓ Creciente Básica: La creciente básica se define como la creciente que solo tiene 1% de posibilidad de ocurrencia en un año, lo cual equivale a una creciente con periodo de retorno de 100 años. Esta creciente básica puede utilizarse como criterio cuando no existe riesgo de pérdida de vidas humanas por la amenaza de la creciente.
 - ✓ Creciente Máxima: La creciente máxima o súper creciente es la que tiene un 0.2% de probabilidad de ocurrencia en un año, equivalente a una creciente con periodo de retorno de 500 años. Esta creciente Máxima debe utilizarse como criterio siempre que exista riesgo de pérdida de vidas humanas por la amenaza de la creciente.
- Niveles de amenaza: Desde el punto de vista de los niveles de amenaza de inundación se debe clasificar los terrenos en las siguientes tres categorías
 - ✓ Nivel de Amenaza baja: Son terrenos no afectados por amenazas de inundación o avenidas torrenciales por corrientes de agua. No existe el riesgo que área alguna del proyecto sea inundada en la creciente máxima (Período de retorno 500 años)
 - ✓ Nivel de Amenaza media: Son terrenos afectados por amenazas medianas de inundación o avenidas torrenciales por corrientes de agua y para adelantar la construcción de obras es necesaria la ejecución previa de trabajos de control de inundaciones o se establecen condicionantes para el manejo del terreno, orientados a conservar o mejorar su estabilidad natural. No existe el riesgo de que área alguna

del proyecto sea inundada en la creciente básica (Período de retorno de 100 años), pero existe el riesgo de que áreas del proyecto sean afectadas por la creciente máxima (periodo de retorno de 500 años).

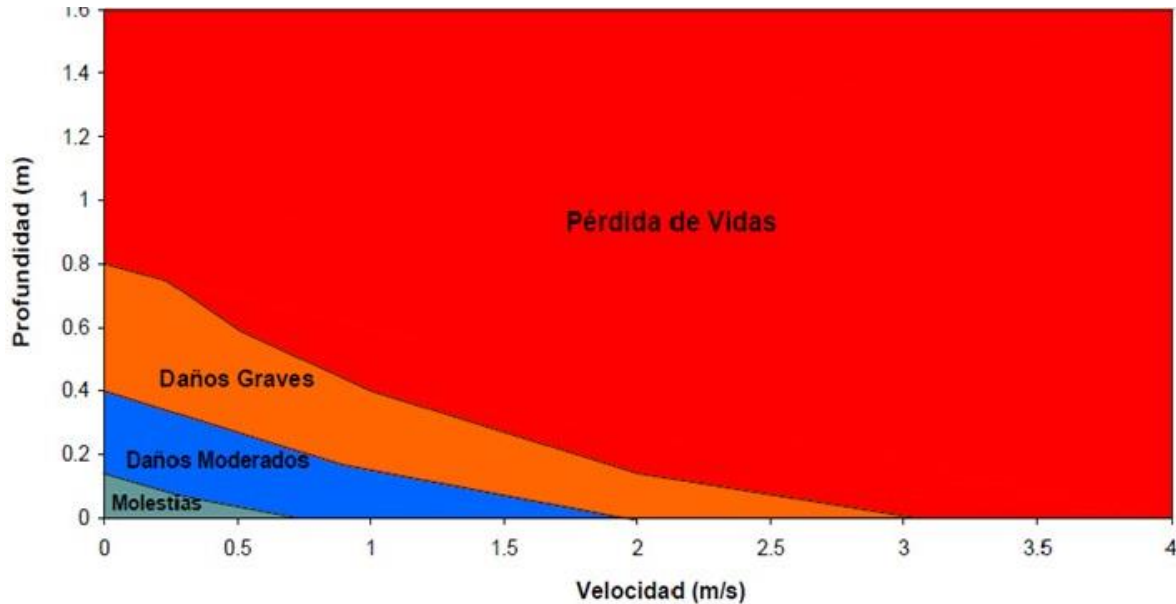
- ✓ Nivel de amenaza alta: Son terrenos afectados por amenazas graves de inundación o avenidas torrenciales por corrientes de agua en los cuales no se debe adelantar ninguna obra de construcción, debido a que presentan riesgos altos para la vida y bienes de la comunidad, además su recuperación es muy compleja, o demasiado costosa. Se deben destinar a zonas verdes, reforestación o de tratamientos especiales. Existe el riesgo de que algunas áreas del proyecto sean inundadas en la creciente básica (Período de retorno de 100 años).

N. Protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas, Proyecto “Formulación e Implementación de Acciones de Ordenamiento Ambiental del Territorio en las Cuencas Hidrográficas Afectadas por el Fenómeno de la Niña 2010-2011, como una Estrategia para la Reducción de las Nuevas Condiciones de Riesgo del País”. Fondo de Adaptación 2014

Cuando los resultados de la modelación permiten obtener los niveles máximos y velocidades máximas alcanzadas por el flujo en la zona inundada se seguirá la propuesta dada por Vélez y otros (2011) para la definición de categorías de amenaza (ver Figura 7.1) a partir de los posibles daños que puede provocar de la relación de estas dos variables.

- Amenaza alta: zona comprendida entre la mancha de inundación para un periodo de retorno de 100 años si la combinación de velocidad y profundidad de flujo puede generar daños graves o pérdidas de vidas.
- Amenaza media: zona ocupada por las manchas de inundación 100 años y velocidades y profundidades que generen daños moderados y/o molestias a 500 años de periodo de retorno si la combinación de velocidad y profundidad de flujo puede generar daños graves o pérdidas de vidas.
- Amenaza baja: zona comprendida entre las manchas de inundación de 100 a 500 años de periodo de retorno si la combinación de velocidad y profundidad de flujo puede generar daños moderados y molestias.

Figura 7.1. Tipos de daños potenciales por características de la inundación



Fuente: Fondo de Adaptación, 2014

Cuando los resultados de la modelación permiten obtener sólo los niveles máximos alcanzados por el flujo en la zona inundada, se seguirá la siguiente propuesta de categorización de la amenaza.

- **Amenaza Alta:** Niveles máximos obtenidos para el evento con caudal máximo de período de retorno menor o igual a 15 años.
- **Amenaza Media:** Niveles máximos obtenidos para el rango entre el evento con caudal máximo de período de retorno mayor a 15 años y el de menor o igual a 100 años.
- **Amenaza Baja:** Niveles máximos obtenidos para el rango entre el evento con caudal máximo de período de retorno mayor a 100 años y el de menor o igual a 500 años.

7.2 MÉTODOS DE ZONIFICACIÓN

Los mapas de riesgo de inundación se pueden agrupar en cinco tipologías. En primer lugar, los que se podrían denominar mapas de áreas inundables, en segundo, los de peligrosidad; en tercero, los mapas de exposición (elementos en juego); en cuarto, los mapas de vulnerabilidad a las inundaciones, y, en quinto lugar, los que se podrían denominar mapas de riesgo de daños por inundación (o mapas de daños potenciales por

inundación), de desarrollo más reciente, donde se contempla la variable vulnerabilidad (Pujadas, 2002).

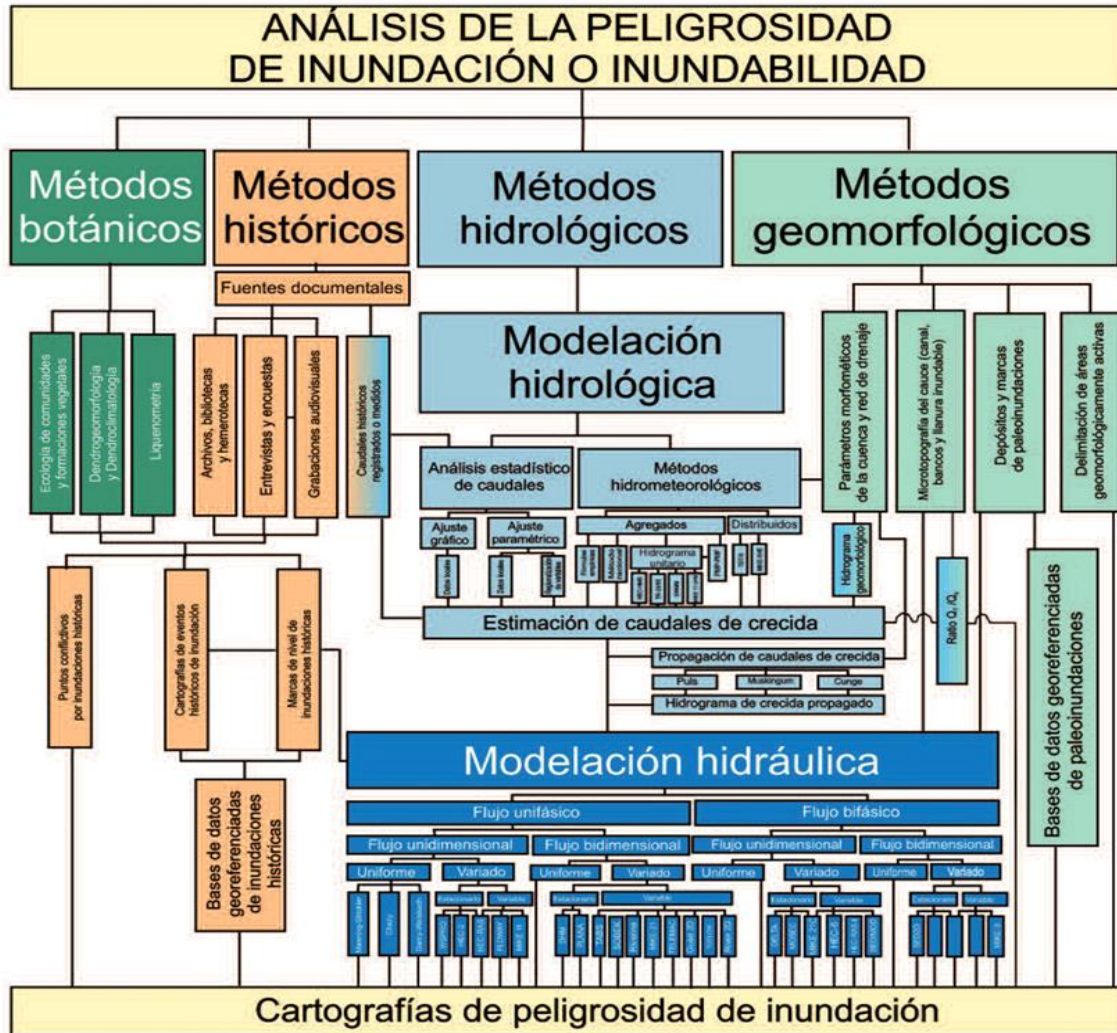
Los primeros, los mapas de áreas inundables, los más comunes hasta el momento y hasta hace poco confundidos con los mapas de riesgo de daños potenciales por inundación (Díez Herrero, 2002), se limitan a concretar el área potencialmente afectada por las inundaciones. En definitiva, se trata de determinar la ocurrencia o no de un suceso en un punto del territorio a partir de la aplicación de diferentes metodologías ampliamente utilizadas y complementarias como son la histórica, la geomorfológica y la hidrológico-hidráulica. El método histórico consiste básicamente en cartografiar las áreas inundables en episodios de inundación pasados. El método geomorfológico se fundamenta en el estudio de las formas del terreno provocadas por el paso del agua. Y, finalmente, el método hidrológico e hidráulico delimita las áreas potencialmente inundables a partir de los registros pluviométricos y mediciones de los caudales y del comportamiento físico del agua en función de la morfología del terreno; con él es posible, si se desea, calcular el período de retorno o, en otras palabras, la probabilidad de ocurrencia que enriquece el análisis de riesgo. Pero la limitación que presenta este tipo de cartografía es que, si bien describe con precisión el espacio inundable (información de muchísima utilidad), en cambio aporta una información más bien escasa sobre qué elementos se verán afectados y con qué intensidad.

En segundo lugar, los mapas de peligrosidad describen aquellas peculiaridades del suceso que lo pueden convertir en más o menos dañino. Por ejemplo, las profundidades y la velocidad del agua, la permanencia de la lámina de agua o la carga de transporte. La información de estos dos mapas puede ser sintetizada en lo que se podría denominar mapa final de peligrosidad.

En tercer lugar, los mapas de exposición determinan la localización de los elementos expuestos en un período temporal concreto. Esta información es especialmente útil para conocer la situación de aquellos elementos que, por sus características de movilidad, pueden modificar su afectación respecto a un suceso determinado. La alta movilidad de las personas o de los vehículos, por ejemplo, obliga a confeccionar un mapa de exposición lo más detallado posible.

En cuarto lugar, los mapas de vulnerabilidad a las inundaciones describen aquellas características de los elementos a estudiar que incrementan o disminuyen el impacto de una inundación si ésta se llega a producir. Algunas de las variables a estudiar pueden ser las edades, el género, los ingresos económicos, el nivel de formación en el caso de los estudios de posibles afectaciones a la población o las características estructurales de las infraestructuras, las viviendas y las vías de comunicación si lo que se pretende es conocer el potencial impacto en estas construcciones. De la misma forma que en los dos primeros mapas mencionados, la información de estos otros dos puede ser sintetizada en lo que se podría denominar mapa final de vulnerabilidad.

Figura 7.2. Cuadro sinóptico de los principales grupos de métodos para el análisis de la peligrosidad de inundaciones y sus relaciones mutuas



Fuente: Modificado y ampliado de Díez 2002c y Díez Herrero 2008c

Finalmente, los mapas de riesgo de daños por inundación, en un sentido estricto y en coherencia con lo expuesto anteriormente, son los verdaderos mapas de riesgo, puesto que muestran las inundaciones en relación con el impacto negativo que éstas pueden llegar a producir en personas, bienes y actividades. Para su realización, se debe disponer de los cuatro mapas anteriores: los dos primeros (de áreas inundables y de peligrosidad), para localizar y caracterizar el suceso y que dan lugar al mapa final de peligrosidad; y los dos segundos (de exposición y vulnerabilidad), para localizar y caracterizar los elementos en juego que conducen al mapa final de vulnerabilidad.

Teniendo cuenta lo mencionado, en el mundo, el análisis de la amenaza por inundaciones se realiza empleando de forma combinada y complementaria una serie de técnicas y procedimientos, que a grandes rasgos pueden agruparse en tres aproximaciones metodológicas: métodos históricos y paleohidrológicos, métodos geológicos y geomorfológicos, y métodos hidrológicos e hidráulicos (Díez-Herrero, 2002a). A parte están los métodos mixtos y los de fundamento botánico o ecológico, como los dendrogeomorfológicos (Díez et al., 2008a) y los liquenométricos, aún en fase de investigación, en la Figura 7.2, se puede observar los métodos más utilizados y las principales variables utilizadas.

- ✓ Los **métodos históricos** emplean marcas y placas sobre elementos artificiales (edificaciones, vías de comunicación, obras públicas, etc.), documentación histórica (manuscritos e impresos de archivos, bibliotecas y hemerotecas) y testimonios (orales o audiovisuales) para reconstruir la extensión cubierta o la cota alcanzada por las aguas durante una crecida desencadenada en el periodo histórico. Una aplicación simple de esta metodología consiste en suponer que si el agua alguna vez ha alcanzado ciertos niveles puede alcanzarlos también en un futuro no muy lejano, determinando esta zona como 'de crecida histórica'. Algo más sofisticados son los estudios que trasponen estos niveles a caudales circulantes mediante modelos hidráulicos y les asignan una determinada probabilidad, permitiendo que se introduzcan como datos complementarios en el análisis estadístico de caudales procedentes del registro ordinario; o los que asignan las frecuencias de inundación histórica a unidades y elementos geomorfológicos (Lastra et al., 2008).
- ✓ Los **métodos paleohidrológicos** del registro geológico emplean determinados tipos de depósitos o marcas de las inundaciones pretéritas (anteriores al periodo histórico o de las cuales no se dispone de información histórica), en relación con elementos datables mediante técnicas paleontológicas, dendrocronológicas, radiométricas (14 C, OSL, TL, etc.) o arqueológicas. De esta forma puede igualmente asignarse una probabilidad de ocurrencia a los caudales resultantes de la modelización hidráulica a partir de esos niveles y velocidades, integrándose de la misma forma en el análisis estadístico de caudales como datos no sistemáticos (Benito, 2002; Benito et al., 2004).
- ✓ Los **métodos geológico-geomorfológicos** emplean la disposición y tipología de las formas del terreno y los depósitos generados durante o tras el evento de avenida. Con ello se pueden delimitar las áreas geomorfológicamente activas dentro del cauce fluvial y sus márgenes, y por tanto susceptibles de ser inundadas en el marco de la dinámica natural de la corriente fluvial, su frecuencia cualitativa de inundación, e incluso inferir órdenes de magnitud de parámetros como la profundidad, velocidad de la corriente o carga sólida transportada. Estas técnicas están cobrando fuerza al ser las únicas que consideran fenómenos naturales

Página 116 de 306

difícilmente modelizables con otras técnicas, como avulsiones, migraciones del canal o el transporte de sólidos, y tener en cuenta las tendencias evolutivas naturales del sistema fluvial.

- ✓ Los **métodos hidrológicos e hidráulicos** persiguen, respectivamente, la estimación de los caudales generados en una cuenca o corriente y el cálculo de las velocidades y calados con los que circularán por un determinado tramo fluvial. Los métodos hidrológicos pueden partir de los datos de caudales, aplicando análisis estadístico de los valores máximos; o de los datos de precipitación, mediante modelos hidrometeorológicos de transformación precipitación-escorrentía basados en fórmulas y métodos como el racional, hidrograma unitario, PMP-PMF, onda cinemática. Los métodos hidráulicos parten de diferentes hipótesis, simplificaciones o aproximaciones al flujo del agua en la Naturaleza (unifásico-bifásico, uni-bi-tridimensional, uniforme-variado, permanente variable, laminar-turbulento, lento-rápido) que simplifican las ecuaciones físicas que lo modelizan, cuya resolución permite estimar diferentes parámetros (profundidad, velocidad, energía). Estos grandes grupos de métodos no son excluyentes, sino al contrario, deberían emplearse y aplicarse todos ellos de forma integrada y complementaria para el estudio de la peligrosidad de inundaciones, siempre que sea posible por existir las fuentes de información que precisan.

7.3 REVISIÓN Y SELECCIÓN DE METODOLOGÍAS PARA LA ZONIFICACIÓN DE AMENAZA

Inicialmente se realizó una revisión de las diferentes metodologías aplicadas a nivel nacional e internacional para la creación de un mapa de amenazas por inundaciones. Estas metodologías se dividen de acuerdo con el tipo de herramienta que se implemente para el análisis. Cuando se estima las dos componentes del riesgo (vulnerabilidad y amenaza) se conoce como completa. De lo contrario, si solo se estima una sola componente del riesgo se define como parcial. También puede ser dividida en cuantitativas o cualitativas, según si obtienen o no un valor numérico. (Escuder et al., 2010). Al combinar estas dos clasificaciones da como resultado 4 enfoques:

7.3.1 Parciales y cualitativas

Estas herramientas solo calculan una de las dos componentes del riesgo y de una forma cualitativa. En general, se suele tratar de mapas en los que se hace una estimación de la probabilidad de la amenaza, basada en la ocurrencia de eventos históricos de inundación o en cálculos hidráulicos e hidrológicos simplificados.

Cuando estas herramientas se centran en la estimación de la vulnerabilidad, suelen definir zonas donde puede haber una gran vulnerabilidad o donde las inundaciones pueden producir importantes pérdidas humanas.

7.3.2 Completas y cualitativas

Estas herramientas calculan ambas componentes del riesgo, aunque al menos una de ellas de forma cualitativa, por lo que se obtiene un resultado del riesgo cualitativo, pueden ser muy útiles para el planeamiento y la gestión, ya que identifican áreas donde el riesgo de inundación debe ser reducido, si bien su grado de detalle es menor que el de las herramientas cuantitativas. También pueden ser muy útiles para estimar el riesgo asociado a consecuencias que difícilmente pueden ser cuantificadas, como las consecuencias medioambientales y culturales o el trauma social (ANCOLD, 2003).

Dentro de este tipo de herramientas, la más común son los mapas de riesgo obtenidos por una combinación de la estimación cuantitativa de la probabilidad de ocurrencia de una inundación con una estimación cualitativa de las consecuencias. Estas consecuencias se encuentran normalmente divididas en niveles según la profundidad de la inundación estimada.

7.3.3 Parciales y cuantitativas

Este tipo de herramientas solo define una parte del riesgo, aunque de forma cuantitativa. Por lo tanto, se pueden dividir entre las herramientas que estiman la probabilidad de la amenaza y las que estiman la vulnerabilidad.

Dentro de las herramientas que definen la amenaza, las más comunes son los mapas de inundación, que muestran el área inundada para diferentes eventos asociados a unas probabilidades anuales de ocurrencia (Figura 3). El proceso que debe seguirse para desarrollar estos mapas consiste en un análisis histórico de las inundaciones, un análisis geomorfológico, un estudio hidrológico, una modelización hidráulica y por último, una calibración y comparación de los resultados (Sánchez, 2010).

Respecto a los métodos para analizar la vulnerabilidad, se basan en la cuantificación de las consecuencias de la inundación. Estas consecuencias suelen estar expresadas en pérdida de vidas o en consecuencias económicas. Respecto a la pérdida de vidas, la mayoría de las metodologías para su estimación están basadas en tasas de mortalidad fijas según el tipo de inundación y otros aspectos como el tiempo de aviso y la severidad de la inundación, ya que el estudio de los datos históricos de inundaciones revela que estas tasas suelen ser bastante constantes (Jonkman and Vrijling, 2008). Actualmente, otros métodos más sofisticados han sido desarrollados, simulando los diferentes procesos que tienen lugar durante una inundación, como los propuestos por Jonkman (Jonkman, 2007) y el modelo LifeSIM (Bowles and Abolata, 2007), desarrollado en GIS.

Respecto a la estimación de consecuencias económicas, la mayoría de las estimaciones están basadas en los trabajos originales de Kates (Kates, 1965). Estas metodologías usan la profundidad del agua como parámetro base y se utilizan curvas

Página 118 de 306

nivel-daños para estimar las pérdidas económicas dependiendo del valor del suelo (COPUT, 2002). Los métodos más recientes se pueden combinar con GIS y utilizan curvas nivel-daños calibradas según el uso del suelo. En general, los costes indirectos se calculan como una fracción de los costes directos, aunque esta aproximación puede producir errores importantes.

7.3.4 Completas y cuantitativas

Este tipo de herramientas permite cuantificar el riesgo tras cuantificar cada una de sus componentes. Un ejemplo de este tipo de herramientas podrían ser mapas de riesgo, en los que se dividiera el área de estudio en pequeñas celdas y se cuantificara el riesgo en cada una de ellas, obteniendo la distribución de riesgo. Sin embargo, actualmente la mayoría de mapas de riesgo no llegan a cuantificar el riesgo, aunque sí sus componentes, ya que suelen ser una combinación de mapas de inundación con una lista de afecciones y las consecuencias en cada una de ellas.

Otros tipos de herramientas cuantitativas y completas son las curvas F-N. Estas curvas representan la relación entre la probabilidad de ocurrencia de una amenaza y el número de víctimas que produce en una determinada área de estudio. De esta forma, el área debajo de la curva es el riesgo social total en el área estudiada. Estas curvas muestran la distribución de la probabilidad de ocurrencia de un número de víctimas de una forma clara y sencilla, aunque no permiten un análisis directo de la distribución espacial del riesgo de inundación, como los mapas de riesgo. Este tipo de curvas también pueden ser trazadas con consecuencias económicas, en lugar de pérdida de vidas

En vista que el estudio solo le corresponde la creación de mapas de amenazas para dar cumplimiento al decreto 1807 de 2014, no se utiliza la componente del riesgo vulnerabilidad. Por lo tanto, el primer criterio que se tuvo en cuenta para descartar metodologías fue que debían ser parciales, es decir, solo se estudiaron aquellos que incluían únicamente la variable amenaza.

Para el segundo criterio (cualitativa o cuantitativa) se optó por la cuantitativa ya que se contaba con la herramienta IBER para la modelación hidráulica y algunos datos de estaciones meteorológicas para la estimación de probabilidades de eventos.

Como resultado de estos dos criterios mencionados anteriormente, el primer filtro consistió en que la bibliografía preseleccionada para dar una contextualización internacional debía ser parcial y cualitativa. Como resultado de este criterio, la Tabla 1 resumen los documentos consultados para soporte de estudio, donde se pudo ver una comparación de las variables hidráulicas (profundidad de flujo, velocidad del flujo e intensidad) asociadas a un nivel de amenaza. Además, la Tabla 7.3 presenta contenido sobre el lugar de aplicación de caso de estudio.



**ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.**

AMBIENTE
Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático

Tabla 7.3. Bibliografía de apoyo para la construcción de los niveles de amenaza, teniendo en cuenta variables hidráulicas

Título del documento	Año	País caso estudio	Río caso estudio	Variables propuestas	Profundidad del flujo (m)	Velocidad del flujo (m/s)	Intensidad D*V (m2/s)	Nivel de amenaza
FLOOD RISK ASSESSMENT IN AN URBAN AREA: MEASURING HAZARD AND VULNERABILITY	2008	Brasil	Río Manhuaçu	1. Profundidad del flujo	$0.1 m < D < 0.5$	$0.1 < V < 0.5$	NO APLICA	BAJA
				2. Velocidad del flujo	$0.5 m < D < 1.5$	$0.5 < V < 1.5$		MEDIA
					$D > 1.5$	$V > 1.5$		ALTA
A QUANTITATIVE FLOOD RISK ANALYSIS METHODOLOGY FOR URBAN AREAS WITH INTEGRATION OF SOCIAL RESEARCH DATA	2012	España	Río Turia	1. Profundidad del flujo	$< 0,45$	$< 1,5$	< 0.5	MUY BAJA
				2. Velocidad del flujo	$< 0,8$	$< 1,6$		BAJA
				3. Intensidad	< 1	$< 1,8$		MEDIA
		Italia	Río Adda	4. Parámetro de deslizamiento	> 1	$> 1,8$	< 1	ALTA
					> 1	$> 1,8$		MUY ALTA
FLOODPLAIN DEVELOPMENT MANUAL- APPENDIZ L HYDRAULIC AND HAZARD CATEGORISATION	2005	Australia	Ríos de Australia	1. Profundidad del flujo	$< 0,8$	$< 2,0$	NO APLICA	BAJA
				2. Velocidad del flujo	$> 0,8 D < 2,0$	$< 2,0$		MEDIA
					$> 2,0$	$> 2,0$		ALTA
MONTE CARLO-BASED FLOOD MODELLING FRAMEWORK FOR ESTIMATING PROBABILITY WEIGHTED FLOOD RISK	2012	Estados Unidos	Río Swannanoa	1. Profundidad del flujo	< 1	$< 6,1$	NO APLICA	BAJA
				2. Velocidad del flujo	$1 < D < 1,8$	$> 6,1$		MEDIA
					$> 1,8$	$> 6,2$		ALTA
EVALUATION OF THE ADEQUACY OF THE HAZARD CRITERIA PROPOSED IN THE SPANISH "GUIDELINES FOR DAM CLASSIFICATION ACCORDING TO THEIR POTENCIAL RISK	2014	España	Río de España	1. Profundidad del flujo	$< 0,75$	$< 6,25$	NO APLICA	BAJA
				2. Velocidad del flujo	$0,75 > D < 1,875$	$> 6,25$		MEDIA
					$> 1,875$	$> 6,5$		ALTA
GUIDANCE FOR FLOOD RISK ANALYSIS AND MAPPING	2014	Estados Unidos	Ríos de Estados Unidos	1. Profundidad del flujo	$< 0,4$	$< 0,5$	$< 0,2$	BAJA
				2. Velocidad del flujo	$0,4 > D < 0,8$	$0,5 > V < 2$		MEDIA
					$0,8 > D < 1,75$	$2 > V < 3$		ALTA
					$1,75 > D < 3$	$3 > V < 4$		MUY ALTA



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.

AMBIENTE
Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático

Título del documento	Año	País caso estudio	Río caso estudio	Variables propuestas	Profundidad del flujo (m)	Velocidad del flujo (m/s)	Intensidad D*V (m2/s)	Nivel de amenaza
					1,75 > D < 4	> 4	> 2,5	EXTREMA

Fuente: Government, 2005; Cancado et al., 2008; Gómez Valentín and Russo, 2009; Kreibich et al., 2009; Tu and Tingsanchali, 2010; Escuder et al., 2011; Kalyanapu et al., 2012; Agency, 2014; Russo et al., 2014

Esta revisión detallada de la bibliografía presente en la Tabla 7.3 permitió concluir que las variables hidráulicas como la altura del nivel de agua, la velocidad del flujo y la intensidad (producto entre las dos primeras variables mencionadas) eran adecuadas para el estudio en el sector urbano de Bogotá. Sin embargo, los criterios de fijación varían según la zona de estudio debido a los procesos de calibración y validación. Por consiguiente, las siguientes recomendaciones fueron extraídas:

1. Seguir un protocolo de modelación hidráulica: Se debe establecer un procedimiento estándar que incluya los límites del modelo a implementar, errores numéricos procedentes de las técnicas de discretización, estimación de incertidumbre en el modelo hidráulico, calibración y validación.
2. Calibración de las variables hidráulicas asociadas a las consecuencias de las amenazas: Se ajusta los niveles de amenaza mediante la modificación de los valores numéricos de la profundidad de agua y la velocidad del flujo. Esto se realiza con base en datos históricos de catástrofes (deslizamientos, arrastres de cuerpos, daños estructurales, etc), asociados a la hidrología e hidráulica de la zona.
3. Estudio de vulnerabilidad para definición del riesgo: Se recomienda que la vulnerabilidad de la zona sea el estudio a continuar una vez completada las dos anteriores sugerencias. Esta sugerencia es planteada para estudios de riesgos y no de amenazas como es el presente caso. De acuerdo a la información consultada, el estudio se realiza de acuerdo al interés, el cual puede estar sujeto al uso del suelo, daños económicos a la infraestructura, pérdidas de vidas, etc.

Es de aclarar que el IDIGER cuenta con datos históricos hidrológicos, pero estos no están asociado a catástrofes como los sugieren las recomendaciones. Por consiguiente, esta primera limitante sugiere que la metodología a seleccionar no debe presentar coeficientes o variables hidráulicas modificadas por calibración y validación.

Es importante mencionar que las metodologías presentadas en la Tabla 7.4 plantean diferentes escenarios de acuerdo con los análisis hidrológicos de la zona. Dependiendo del estudio, los autores definen un periodo de retorno para estimar los caudales de los cauces, los cuales afectan los valores de las variables hidráulicas (profundidad y velocidad del flujo) en la modelación. Sin embargo, el periodo de retorno también indica la

Página 121 de 306

probabilidad de ocurrencia del evento. A medida que el periodo de retornar aumenta, la probabilidad de ocurrencia del evento disminuye. Teniendo en cuenta lo anterior, el IDIGER consideró que no era adecuado designar los niveles de forma equitativa para diferentes periodos de retorno. Por lo tanto, se realizó una revisión bibliográfica para entender sus efectos, y a la vez considerar una integración o modificación de la metodología seleccionada. La Tabla 7.4 muestra un resumen de la teoría y estudios consultados con sus respectivas variables hidráulicas, resumen y características de procedencia.

Tabla 7.4. Bibliografía de apoyo para la construcción de los niveles de amenaza, teniendo en cuenta variables hidráulicas y los periodos de retorno.

Título del documento	Año	País	Río Caso De Estudio	Variables propuestas	Estructura matemática	Resumen
Flood Risk Mapping in the Czech Republic	2007	Republica Checa	Ríos de Republica Checa	1. Intensidad (m^2/s)	Matriz	Construyen inicialmente una matriz compuesta por intensidad (velocidad por profundidad del flujo) y periodos de retorno 5 a 300 años. A partir de dicha matriz, construyen en una expresión matemática con 2 coeficientes que permiten calibrar las amenazas.
				2. Periodo de retorno	Algoritmo con coeficiente	
Flood maps in Europe - methods, availability and use	2009	29 países del continente europea	Ríos en Europa	1. Intensidad (m^2/s)	Matriz	El artículo presenta un resumen sobre la construcción de mapas de inundación en 29 países de Europa. De forma general, expresa que la construcción de una matriz, compuesta de intensidad versus periodos de retorno. Finalmente concluye que el 80% utilizan la metodología de matriz en los mapas.
				2. Periodo de retorno		
A method leading to an automated creation and update of a flood risk map	2006	Bélgica	Ríos de la región Valonia	1. Profundidad (m^2/s)	Matriz	Construyen una matriz a partir de la profundidad del flujo y los periodos de retorno. Además, la velocidad y la duración del flujo son variables que exceden los valores de 1 m/s y 3 días. Esta metodología es propuesta para identificar los niveles de riesgo de acuerdo a la vulnerabilidad por el uso del suelo.
				2. Periodo de retorno		



**ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.**

AMBIENTE
Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático

Título del documento	Año	País	Río Caso De Estudio	Variables propuestas	Estructura matemática	Resumen
Atlas of flood maps	2007	19 países de Europa, Estados Unidos y Japón	Ríos en los 19 países de Europa, Estados Unidos y Japón	Diversas	Diversas	Muestra diferentes metodologías para 19 países de Europa, Estados Unidos y Japón. Los métodos más comunes son la implementación de una matriz y funciones algebraicas, las cuales contemplan diversas variables hidráulicas, y en algunos casos el periodo de retorno
Flood risk and flood hazard maps - visualization of hydrological risks	2008	Alemania	Río Rott	1. Profundidad (m ² /s)	Matriz	A partir de la hidrología e hidráulica, construyen los mapas de amenazas, teniendo en cuenta la matriz y una expresión algebraica. Además, utilizan la superposición de mapas para visualizar los diferentes niveles de amenaza con diferentes periodos de retorno.
				2. Periodo de retorno	Algoritmo con coeficiente	
Flood hazard map guidelines of the German Working Group of the Federal States on Water Issues	2006	Alemania y Países bajos	Río Issel Río Neckar	1. Velocidad (m ² /s)	Matriz	La guía propone definir inicialmente las amenazas a partir de las variables hidráulicas (velocidad y profundidad). Continuamente, los periodos de retorno son agregados a partir de la construcción de una matriz. La visualización de los mapas se hace a través de una superposición de los periodos de retorno.
				2. Profundidad (m)		
				3. Periodo de retorno		
Review of flood hazard mapping	2008	Polonia	Río Vistula	Diversas	Diversas	Hace una revisión bibliográfica de diversas metodologías, entre las cuales menciona la construcción de matriz a partir de variables hidráulicas. Además, menciona múltiples herramientas para los aspectos hidrológicos e hidráulicos.

Fuente: Integrated, 2006; Wasser, 2006; Drbal and Masaryk, 2007; EXIMAP, 2007; Mapping, 2007; Merz et al., 2007; Panayotis Prinos, 2008; Spachinger et al., 2008; de Moel et al., 2009

La revisión de la bibliografía presentada en la Tabla 7.4 permitió asegurar que la integración del periodo de retorno alteraba los niveles de amenaza. Esto se debe que la probabilidad de ocurrencia (inverso del periodo de retorno) afecta las variables hidráulicas (profundidad del agua y velocidad del flujo), generando un escenario por cara periodo de retorno. La interacción de diversos escenarios construye una matriz. Un ejemplo de estas

Página 123 de 306

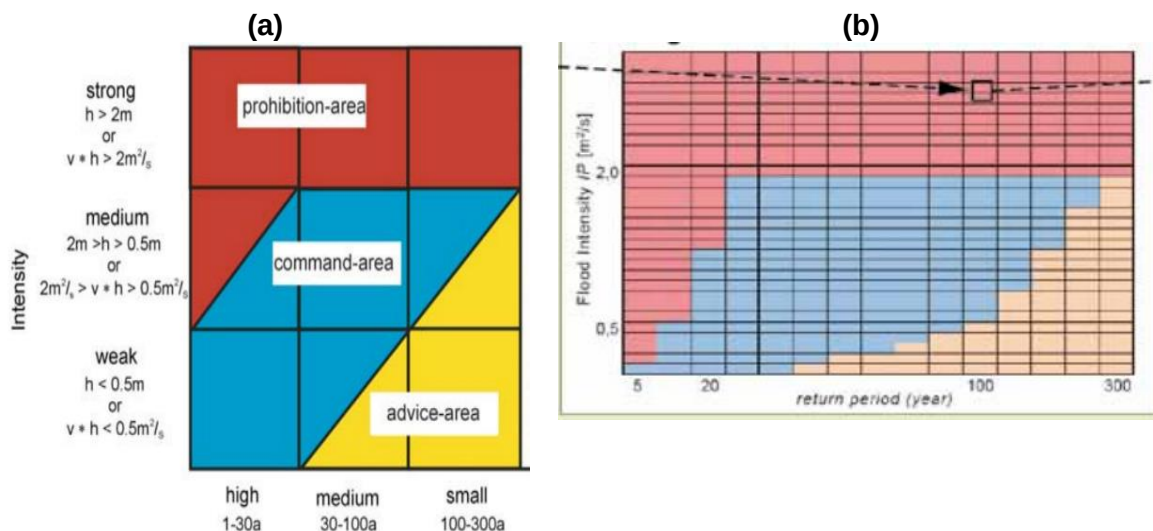
matrices se puede visualizar en la Figura 7.3, donde se muestra la intensidad (producto de la profundidad del agua con velocidad del flujo) versus cada periodo de retorno en cada interacción

Dentro de las recomendaciones de los artículos presentados en la Tabla 7.4, se destacaron las tres recomendaciones siguientes:

1. **Diseño de la matriz:** A partir de revisión bibliográfica se construye la matriz que permita cambiar los niveles de amenaza según el periodo de retorno.
2. **Construcción de un modelo matemático:** El modelo matemático representa la matriz con sus respectivos coeficientes.
3. **Calibración y Validación del modelo matemático:** A partir del modelo matemático, se ajustan los coeficientes de tal modo que se calibren y validen con los datos históricos de catástrofes (deslizamientos, arrastres de cuerpos, daños estructurales, etc).

En vista que no se tiene datos históricos hidrológicos asociados a catástrofes, este estudio solo contempla la sugerencia número 1, la cual se presenta en detalle en la selección de la metodología para la zonificación de amenazas presentadas más adelante en el documento.

Figura 7.3 Matriz definida por la intensidad (m^2/s) versus periodo de retorno.



Fuente: Drbal and Masaryk, 2007; Merz et al., 2007

7.4 METODOLOGÍAS EMPLEADAS EN LA ZONIFICACIÓN VIGENTE

Con base en los estudios realizados por la DPAE (hoy IDIGER) elaborados como soporte para el mapa por inundación del Decreto 190 de 2004, se realizó la unificación de los criterios de evaluación de amenaza de inundación, la DPAE (hoy IDIGER) oficialmente adoptó las definiciones de amenaza alta, media y baja de inundación por desbordamiento de acuerdo con los criterios planteados en la metodología utilizada por INGETEC (1999) y actualmente se utiliza para la emisión de conceptos técnicos en zonas de inundación por desbordamiento, las definiciones adoptadas se muestran en la Tabla 7.5.

Tabla 7.5. Definiciones de amenaza alta, media y baja adoptadas

Categorización de la amenaza	Descripción	Probabilidad de ocurrencia
AMENAZA ALTA	Zona delimitada por la línea de inundación producida por el desborde del cauce calculado para el caudal de creciente de un periodo de retorno menor o igual a 10 años, ya sea por causas naturales o intervención antrópica no intencional, y con una profundidad de lámina de agua igual o superior a 0,50 m, duración, caudal y velocidad con efectos potencialmente dañinos graves. Esta franja tiene una probabilidad de estar inundada por lo menos una vez cada diez años durante la vida útil del jarillón hasta ese nivel.	>65%
AMENAZA MEDIA	Zona delimitada por la línea de inundación producida por el desborde del cauce calculado para el caudal de creciente entre los periodos de retorno de 10 y 100 años, ya sea por causas naturales o intervención antrópica no intencional, y con una profundidad de lámina de agua, duración, caudal y velocidad con efectos potencialmente dañinos moderados.	10% -65%
AMENAZA BAJA	Zona delimitada por la línea de inundación producida por el desborde del cauce calculado para el caudal de creciente de un periodo de retorno mayor o igual a 100 años, ya sea por causas naturales o intervención antrópica no intencional, y con una profundidad de lámina de agua con efectos potencialmente dañinos leves. Esta franja tiene una probabilidad de estar inundada por lo menos una vez cada cien años durante la vida útil del jarillón.	< 10%

Fuente: Proyecto POT

Las definiciones de amenaza alta, media y baja a utilizar son las determinadas oficialmente por el IDIGER en las políticas de emisión de conceptos haciendo la claridad que la amenaza baja “obedece también a criterios geomorfológicos” debido a que la definición actual no es consistente con las clasificaciones de amenaza que aparecen en los estudios contratados por la DPAE (hoy IDIGER) para zonificación de Amenaza por Inundación por desbordamiento. Adicionalmente, debe hacerse claridad sobre la clasificación de amenaza baja para periodos de retorno mayores a 10 años ($10 < Tr \leq 100$ años) con severidad baja y la clasificación de amenaza media para condiciones de severidad baja para frecuencias altas ($Tr \leq 10$ años).

7.5 ESCOGENCIA DE LAS METODOLOGÍAS

Como se mencionó anteriormente, el primer filtro para descartar metodologías correspondió a que debía ser parcial y cuantitativa, criterio que cumple toda la bibliografía de la Tabla X.

Para seleccionar una metodología de la Tabla X, se partió de los siguientes criterios:

1. La metodología por seleccionar no debía contener coeficientes o variables modificadas por procesos de calibración y validación ya que el IDIGER no contaba con datos históricos de catástrofes procedente de inundaciones para realizar este proceso.
2. Los niveles de amenaza deben ser fijados y sustentados a partir de datos experimentales en laboratorio y campo. Esto con el fin de dar soporte técnico a la hora de clasificar los niveles de amenaza ya que no se podía realizar con datos históricos de catástrofes por inundación.
3. La metodología debe describir las consecuencias de los niveles de amenaza a partir de hechos catastróficos y datos experimentales que permitan una adecuada interpretación del nivel de amenaza.

Teniendo en cuenta las características mencionadas, la metodología que cumplió con estos tres requisitos correspondió a la propuesta por Escudero y sus colaboradores en 2012. Inicialmente, es una metodología que clasifica en ser parcial y cuantitativa. Seguidamente, la construcción de los niveles no corresponde a un proceso de calibración, pero están soportados con datos históricos y experimentales según estudios consultados (Témez, 1991; Reiter and RESCDAM, 2001; Nanía, 2002; Gómez y Russo, 2009). Además, los niveles de amenazas están analizados con las posibles consecuencias. La Figura 7.4 muestra los criterios para definir los niveles de amenazas a partir de la velocidad del flujo (m/s), profundidad de flujo (m) y su intensidad (m^2/s) (producto entre la velocidad y profundidad del flujo).

Se propone una clasificación de tres categorías en base a la existencia de sistemas de aviso a la población. Cada una de estas categorías se asocia a cinco valores de tasas de mortalidad (Penning-Rowsell et al, 2005) en función del grado de severidad de la inundación. La definición de la severidad de la inundación se basa en una clasificación que atiende a cuatro variables: calado de inundación (y), velocidad del flujo (v), al producto $v \cdot y$ y al producto $v^2 \cdot y$ y Tabla 7.6.

El establecimiento de los cinco niveles se fundamenta en criterios existentes en relación con las condiciones de estabilidad de personas expuestas al flujo en términos de estabilidad a deslizamiento, arrastre y vuelco (Gómez y Russo, 2009). La Figura 7.4

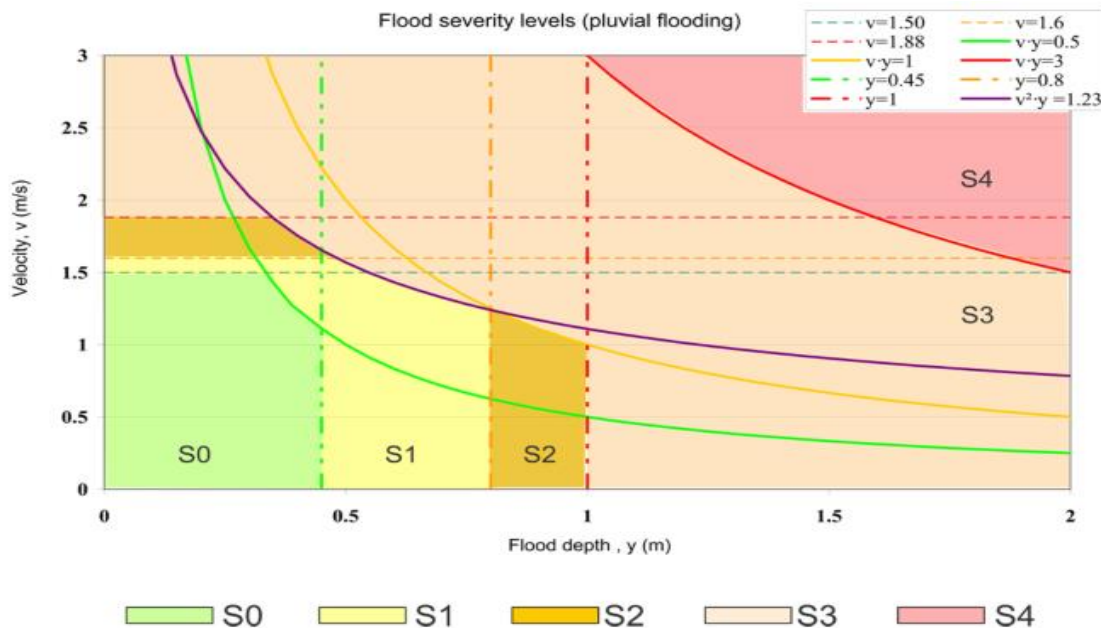
muestra la distribución del nivel de severidad en inundación pluvial en función del calado y velocidad.

Tabla 7.6 Niveles de severidad en inundación

	Nivel de severidad (S)	Calado $y(m)$	Velocidad $v(m/s)$	Parámetro Vuelco $v \cdot y \ (m^2/s)$	Parámetro Deslizamiento $v^2 \cdot y \ (m^3/s^2)$
S0	No se esperan víctimas	<0.45	<1.50	<0.50	<1.23
S1	<i>Severidad leve.</i> Peatones pueden sufrir pérdida de estabilidad y dificultades para caminar.	<0.80	<1.60	<1.00	<1.23
S2	<i>Severidad media.</i> Significativas pérdidas de estabilidad. Vehículos pierden adherencia.	<1.00	<1.88	<1.00	<1.23
S3	<i>Severidad elevada.</i> Alto riesgo para personas situadas en el exterior. Arrastre de vehículos.	>1.00	>1.88	>1.00	>1.23
S4	<i>Severidad extrema.</i> Daños estructurales a edificios.	>1.00	>1.88	>3.00	>1.23

Fuente: Escuder-Bueno et al , 2012.

Figura 7.4 Niveles de amenaza de acuerdo a la investigación de.



Fuente: Escuder-Bueno et al , 2012.

En atención a lo mencionado por el Literal 4, del Artículo 8 del Decreto 1807 de 2014 en donde se establece que, para la zonificación de la amenaza, esta se categorizará en alta, media y baja, que se establece según el método empleado, lo niveles de amenaza propuesto por (Escuder-Bueno et al., 2012), fueron ajustados con la finalidad de evitar confusiones a la hora de divulgar los resultados con la sociedad (ver Tabla 3). Esta acción se llevó a cabo mediante la comparación de las metodologías expuestas en la Tabla 7.7 que presentaba exclusivamente 3 niveles de amenaza (Government, 2005; Cancado et al., 2008; Kalyanapu et al., 2012; Russo et al., 2014). En el siguiente párrafo se describe los criterios que se tuvieron en cuenta para realizar los ajustes.

Tabla 7.7 Niveles de amenaza asociadas las variables hidráulicas

Profundidad (m)	Nivel de amenaza para la profundidad	Niveles de amenaza		
$z < 0,5$	BAJA	BAJA	MEDIA	ALTA
$0,5 > z < 1,0$	MEDIA	MEDIA	MEDIA	ALTA
$z > 1,0$	ALTA	ALTA	ALTA	ALTA
NIVEL DE AMENAZA PARA LA VELOCIDAD		BAJA	MEDIA	ALTA
VELOCIDAD (m/s)		$v < 1,5$	$1,5 > v < 2$	$v > 2$

Fuente: adecuado de Escuder-Bueno et al., 2012; Government, 2005; Cancado et al., 2008; Kalyanapu et al., 2012; Russo et al., 2014, por Proyecto POT

En la Figura 2, el primer nivel S0 son valores por debajo de 0.45 m, el cual se aproximó a 0.5 m. Se tomó esta acción ya que la profundidad en los demás escenarios se encontraba ajustada de acuerdo a los datos históricos, y en vista que el IDIGER no cuenta con esto, se prefirió expandir el rango en 0.5 m como lo muestra Cancado y sus colaboradores en 2008 porque este valor fue calibrado para un sector urbano.

El segundo nivel se fusiono el nivel S1 y S2 de la Figura 2. Se consideró que esta acción era la apropiada en vista que las dimensiones presentadas en la literatura (Government, 2005; Cancado et al., 2008; Kalyanapu et al., 2012; Russo et al., 2014) sobre pasaban la estatura promedio de la población de Bogotá, a cual es para hombres de 1.72 m y mujeres 1.6 m [Meisel and Vega, 2004]. Por lo tanto, el hecho que sobre pasa la estatura promedio ya es causal de un riesgo alto. El tercer nivel se ajustó mediante la unión de S3 y S4 de la Figura 2 ya que eran el nivel que por defecto sobraaba.

Es de aclarar que las velocidades se dejaron iguales ya que está soportada por estudios experimentales tal como se mencionó anteriormente dentro del mismo artículo. Además, los datos presentados por Escudero y sus colaboradores en el años 2012, fueron contrastados con los resultados presentados por Kreibich y sus colegas en el año 2009.

Su comparación permitió concluir que los niveles estaban correctamente distribuidos de acuerdo con los posibles efectos en la población e infraestructuras.

Adicionalmente, la metodología seleccionada no tiene en cuenta los efectos del periodo de retorno, y como fue mencionado en el numeral 8.3, es importante considerar la probabilidad de ocurrencia del evento. Por lo tanto, la metodología de Escudero y sus colegas se modificó de acuerdo con los periodos de retorno establecidos por el IDIGER (10, 100 y 500 años). Estos ajustes se hicieron de acuerdo con la literatura (Integrated, 2006; Wasser, 2006; Drbal and Masaryk, 2007; EXIMAP, 2007; Mapping, 2007; Merz et al., 2007; Panayotis Prinos, 2008; Spachinger et al., 2008; de Moel et al., 2009), donde la mayor probabilidad de ocurrencia, es decir para 10 años, se asignaba alta, para 100 años media y 500 años baja. La interacción solo alteró para 10 años, cambiando media por alta y baja por medio. Las demás interacciones quedaron de la misma forma. En la Tabla 7.8 se puede visualizar este concepto.

Tabla 7.8 Matriz de los niveles de amenazas con las variables hidráulicas (profundidad y velocidad) y los periodos de retorno.

Profundidad z (m)	Velocidad v (m/s)	Nivel de amenaza	Matriz de niveles		
$z > 1,0$	$v > 2$	ALTA	ALTA	ALTA	ALTA
$0,5 > z > 1,0$	$1,5 > v < 2$	MEDIA	ALTA	MEDIA	MEDIA
$0,5 < z$	$1,5 < v$	BAJA	MEDIA	BAJA	BAJA
NIVEL DE AMENAZA PARA PERIODO DE RETORNO			ALTA	MEDIA	BAJA
PERIODO DE RETORNO (años)			10	100	500
PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DEL EVENTO (%)			10	1	0.2

Fuente: adecuado de Integrated, 2006; Wasser, 2006; Drbal and Masaryk, 2007; EXIMAP, 2007; Mapping, 2007; Merz et al., 2007; Panayotis Prinos, 2008; Spachinger et al., 2008; de Moel et al., 2009, por el Proyecto POT.

Es de aclarar que para cada periodo de retorno surge un escenario, es decir un mapa de amenaza. Sin embargo, para la interpretación y socialización del mapa de amenazas se exige un mapa que integre estos tres escenarios (3 periodos de retorno).

7.6 PROCESO METODOLÓGICO

El Decreto 190 de 2004, "Por medio del cual se compilan las disposiciones contenidas en los Decretos Distritales 619 de 2000 y 469 de 2003", menciona lo siguiente en correspondencia con las obras de mitigación que son necesarias adelantar en los ríos Tunjuelo y Bogotá.

Artículo 114. *Medidas estructurales para mitigar el riesgo por desbordamiento (artículo 50 del Decreto 619 de 2000, modificado por el artículo 103 del Decreto 469 de 2003).*

Página 129 de 306

Con el objeto de proteger las zonas aledañas y controlar las crecientes para un período de retorno de cien años se proyectan las obras de construcción de jarillones y dragado del cauce del río Bogotá en el tramo del río Bogotá entre Alicachín y el humedal de La Conejera. Las obras mencionadas se desarrollarán en concordancia con el programa de saneamiento del río Bogotá y con las especificaciones definidas por el proyecto de mitigación de inundaciones realizadas para tal efecto por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. Estas obras están incluidas dentro de la actual estructura tarifaria de Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá.

Artículo 129. *Medidas para mitigar el riesgo de inundación (artículo 73 del Decreto 619 de 2000).*

Son medidas de mitigación de riesgos por inundación las siguientes:

- Medidas estructurales: Planes de Manejo de cuencas que incluyen adecuación hidráulica de cauces, protección de las márgenes y construcción de obras de drenaje de aguas residuales y lluvias, entre otros.
- Medidas no estructurales: programas de mantenimiento y limpieza de los cauces y sistemas de drenaje, planes de monitoreo y sistemas de alerta, planes de emergencia y contingencia, programas educativos y de divulgación y organización comunitaria.

Artículo 130. *Adecuación Hidráulica del río Bogotá (artículo 74 del Decreto 619 de 2000, modificado por el artículo 108 del Decreto 469 de 2003).*

Las obras prioritarias para disminuir el riesgo de inundación por desbordamiento en las zonas aledañas al río Bogotá corresponden con la adecuación hidráulica del río y a las obras para el drenaje de sus aguas. Las obras para la adecuación hidráulica del río Bogotá comprenden el dragado, la ampliación del cauce y la construcción de jarillones en la margen izquierda (oriental del río Bogotá).

A su vez, en el artículo 131 del Decreto 190 de 2004 se indica que las obras de drenaje de alcantarillado previstas por la Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá (EAB-ESP) permitirán la evacuación de las aguas lluvias y residuales de la ciudad disminuyendo el riesgo de inundación, además que para las zonas sujetas a amenazas y riesgos, se determinan como prioritarias la construcción de las obras de drenaje pluvial y sanitario en la zona de Tintal, cuyo elemento básico es el Canal Embalse Cundinamarca, el cual recibirá las aguas lluvias antes de su desembocadura en el río Bogotá. Esta obra deberá desarrollarse a corto plazo. En el mediano plazo se desarrollará la construcción de jarillones en la margen oriental y el dragado del río Bogotá.

Estas obras están programadas para ser llevadas a cabo por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, en el largo plazo; en concordancia con el programa de saneamiento del río Bogotá y el Plan Maestro de Alcantarillado.

Aunque en el Decreto 190 de 2004, se previó que la adecuación hidráulica del río Bogotá sería realizada por la Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá (EAB-ESP), sin embargo se suscribió el Convenio Interadministrativo 171 de 2007 entre la Secretaría Distrital de Ambiente y la EAB-ESP, en el marco del “Megaproyecto del río Bogotá”, en el cual se estableció que la CAR sería la encargada de ejecutar las obras de la adecuación hidráulica del río Bogotá con cargo al Fondo para las Inversiones Ambientales en la Cuenca del río Bogotá – FIAB, fondo que se financia con del 7.5 del 15% del impuesto predial que Bogotá, transfiere a la CAR.

En el marco de dichos acuerdos interinstitucionales, la CAR emitió el pronunciamiento 20162107447 del 22 de febrero de 2016 con radicado de IDIGER 2016ER3254, donde manifestó:

"...Las obras de Adecuación Hidráulica de la cuenca media del río Bogotá en el sector comprendido entre el K0+000 Compuertas de Alicachín al K52+550 Desembocadura del río Juan Amarillo se estima se estarán culminando a finales del mes de junio de 2016 y se procederá al recibo final de obra y a la liquidación del contrato de obra donde se incluye la entrega de los planos Record definitivos de obra, por parte del contratista con la aprobación del interventor. Una vez se tenga aprobada por parte del interventor, con el aval de la Corporación las obras e informe final de obra (memorias técnicas y planos record) se procederá a remitir la información completa al IDIGER."

"... Estudio hidrológico e hidráulico del río Bogotá con las nuevas obras adelantadas por la CAR y Planos Record de la adecuación hidráulica con topografía y batimetría: Como se mencionó en el punto anterior será remitida una vez sea entregada oficialmente."

Delimitación de las zonas de ronda hidráulica e hídrica luego de la adecuación realizada, esta fue establecida en el ACUERDO CAR No. 17 DEL 8 DE JULIO DE 2009 "POR MEDIO DEL CUAL SE DETERMINA LA ZONA DE RONDA DE PROTECCIÓN DEL RÍO BOGOTÁ"

Diseño de las áreas multifuncionales planteadas en la adecuación: Actualmente se encuentra en proceso de contratación los diseños definitivos de las áreas multifuncionales.

Finalmente es importante aclarar que las obras objeto de la Adecuación Hidráulica mencionada ofrecen factores de seguridad razonables contra posibles desbordes que puedan sucederse al paso de crecientes, teniendo en cuenta periodos de

Página 131 de 306

retorno apropiados. Así mismo contra posible fallas geotécnicas de los jarillones que puedan ocasionarse con niveles altos en el cauce. No obstante la disminución del riesgo que produce las obras de adecuación es importante tener en cuenta, que este riesgo aunque en menor grado seguirá existiendo, máxime cuando se trata de considerar la ubicación de centros urbanos o suburbanos en las zonas aledañas al río..."

El IDIGER solicitó al Fondo para la Inversiones Ambientales del río Bogotá - FIAB de la CAR una reunión con el fin de realizar unas precisiones al pronunciamiento 20162107447 emitido por esta entidad, para lo cual las dos Instituciones se reunieron el día 26 de febrero de 2016 en Instalaciones de la CAR llegando a las siguientes conclusiones:

- En la construcción de las obras de adecuación del río Bogotá que actualmente se ejecutan NO se presentan variaciones significativas, con respecto al diseño original planteado en el proyecto de Adecuación Hidráulica y Recuperación Ambiental del río Bogotá.
- Para realizar una evaluación de la amenaza por inundación por desbordamiento del río Bogotá en condiciones actuales, se puede utilizar la información proveniente de los diseños originales del proyecto de Adecuación Hidráulica y Recuperación Ambiental del río Bogotá debido a que no tienen mayores variaciones.
- Para mejorar la entrega del río Tunjuelo en el río Bogotá y disminuir los remansos hidráulicos producidos, se decidió realizar una rectificación del cauce del río Tunjuelo en un tramo aproximado de 150 m lineales.
- Para realizar una evaluación de la amenaza por inundación por desbordamiento del río Bogotá, la CAR suministró al IDIGER la siguiente información:
 - Estudio hidráulico para el diseño de las obras para la protección contra las inundaciones del río Bogotá en el sector puente la Virgen – Alicachín. Nivel en Alicachín igual a 2539.57 m.s.n.m.
 - Estudio hidráulico para el diseño de las obras para la protección contra las inundaciones del río Bogotá en el sector puente la Virgen – Alicachín
 - Elaboración de los estudios hidrológicos e hidráulicos requeridos para la determinación de los niveles que definan el cauce natural del río de acuerdo con la legislación al respecto, los cuales se utilizarán para la delimitación de la ronda hidráulica en el sector comprendido entre las compuertas de Alicachín (municipio de Sibaté) y su nacimiento en el municipio de Villapinzón. Contrato 273 de 2009

Luego, en atención al artículo 36 “Nuevo Ordenamiento Territorial” del Acuerdo 645 de 2016 “por el cual se adopta el plan de desarrollo económico, social, ambiental y de obras públicas para Bogotá D.C. 2016 - 2020 Bogotá mejor para todos” donde se establece

realizar las acciones necesarias para planificar la ciudad a través de una normatividad urbanística que reglamente adecuadamente su desarrollo y crecimiento, la Secretaría Distrital de Planeación – SDP que lidera la actualización del Plan de Ordenamiento Territorial – POT del Distrito Capital, expedido mediante el Decreto 619 de 2000, modificado por el Decreto 469 de 2003 y compilado por el Decreto 190 de 2004, ha fijado como compromisos la actualización de los planos normativos de amenaza por inundación, encharcamiento y avenidas torrenciales a nivel urbano y rural de la ciudad.

Para tal fin, es necesario caracterizar la amenaza por inundación de las diferentes localidades del Distrito Capital que se encuentran localizadas en la margen izquierda del río Bogotá a través de la incorporación de estas medidas de mitigación como insumo primario de acuerdo con lo planteado en el Decreto 1807 de 2014 “Por el cual se reglamenta el artículo 189 del Decreto Ley 019 de 2012 en lo relativo a la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenamiento territorial y se dictan otras disposiciones” y es la base normativa para realizar la actualización del Plan de Ordenamiento Territorial.

El IDIGER para poder incorporar las medidas de mitigación correspondientes en los planos normativos del POT, requiere realizar una recopilación de las acciones adelantadas en ésta materia, para lo cual, la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR adelanta a través del Fondo para la Inversiones Ambientales del río Bogotá la ejecución del proyecto de Adecuación Hidráulica y Recuperación Ambiental del río Bogotá, situación que genera un impacto en la valoración de la amenaza y riesgo por inundación del río Bogotá y de los cuerpos tributarios que drenan la ciudad. Por tal motivo, mediante la Carta Remisoria CR-24275 con Radicado IDIGER 2016EE7078 del 29 de Junio de 2016, el IDIGER solicitó a la CAR la información que se menciona a continuación.

- Planos record de la adecuación hidráulica con la topografía y batimetría actualizada luego de la adecuación realizada.
- Estudio hidrológico e hidráulico del río Bogotá con las nuevas obras adelantadas por la CAR en donde se detallen los escenarios de diseños, caudales y períodos de retorno que puede transitar el cuerpo de agua sin desborde bajo las condiciones actuales, factores de seguridad y escenarios con los cuales se diseñaron las obras de protección (jarillones, vertederos, zonas multifuncionales, entre otras)
- Diseño de las áreas multifuncionales plateadas en la adecuación.
- Estudios y diseños geotécnicos de las obras de adecuación (Convenio Interinstitucional No. 514 del año 2007)
- Caracterización de lodos del río Bogotá (Contrato No 0393 de 2007)
- Diseños Geométricos
- Estudios Hidrogeológicos
- Diseños Paisajísticos.

- Plan de contingencia y emergencia de las obras de adecuación hidráulica y plan de seguimiento y monitoreo y mantenimiento de las mismas.

Mediante, el Radicado 20162126726 del 12 de Julio de 2016, con Radicado IDIGER 2016ER12071, la CAR manifiesta lo siguiente:

“...con el fin de caracterizar la amenaza por inundación en las diferentes localidades del Distrito Capital, cordialmente nos permitimos enviarle el Informe General de los estudios realizados que sirvieron de soporte a los trabajos en la Cuenca Media...”

“...En el informe se describen los estudios hidráulicos, geotécnicos, geométricos, hidrogeológicos y paisajísticos que se llevaron a cabo por parte del FIAB contenidos en el listado del oficio...”

“...Con relación a la información que se encuentra en el listado sobre las acciones que tienen que ver con las Áreas multifuncionales y el Plan de mantenimiento y monitoreo de las obras de adecuación, le comentamos que estos temas son el objeto de una consultoría para la cual adelanta la CAR en la actualidad un proceso de contratación con normas del Banco Mundial...”

“...Respecto a los planos record podremos suministrarlos una vez que el contratista de la CAR haya terminado los trabajos de adecuación, lo cual se tiene programado para el mes de Octubre del presente año...”

Posteriormente, mediante la Carta Remisoria CR-25615 con Radicado IDIGER 2016EE13536 del 17 de noviembre de 2016, el IDIGER solicitó a la CAR la siguiente información que servirá de insumo para actualizar el sistema de alerta por inundación del río Bogotá realizado por el IDIGER y la actualización del plano normativo de amenaza por inundación por desbordamiento para la revisión ordinaria del Plan de Ordenamiento de Bogotá:

1. Acceso a la información de lluvias y niveles (además de la ubicación y características de su transmisión de información) de las estaciones administradas por la CAR y que pueden tener influencia en la ciudad de Bogotá y sus zonas aledañas (en tiempo real), en torno a la construcción de un sistema de monitoreo robusto que le permita al IDIGER analizar dichos datos de manera anticipada, para la generación de reportes que permitan soportar la emisión de alertas frente a elevados niveles del río que puedan generar condiciones de riesgo por desbordamiento para la ciudad.
2. Contar con la colaboración de la CAR para gestionar una visita a lo largo del río Bogotá a personal del IDIGER en donde se den a conocer por parte de la Corporación las características técnicas del proceso constructivo realizado dentro de las labores de adecuación hidráulica llevadas a cabo en los tramos intervenidos, así como la condición actual a lo largo del río que aún falta por intervenir.

3. Informe de las zonas actualmente más vulnerables en la ciudad frente a posibles crecientes del río Bogotá, dado que aún se encuentra en curso el proceso de construcción de jarillones dentro de la adecuación hidráulica del río que la CAR tiene bajo su responsabilidad, así como las medidas o planes de contingencia propuestos para su control.
4. Planos Record Oficiales de las obras adelantadas en el proyecto de Adecuación Hidráulica y Recuperación Ambiental del río Bogotá en el tramo comprendido entre Alicachín y la Calle 80
5. Dado que las zonas de expansión del Distrito Capital se encuentran al norte de la ciudad principalmente, es necesario conocer si la CAR está adelantando estudios o diseños de adecuación del río Bogotá en el sector comprendido entre Puente la Virgen y la desembocadura del río Torca, con el fin de incorporar dichos diseños en la evaluación del modelo de amenaza por inundación por desbordamiento desarrollado por el IDIGER en ese sector.
6. Estudios batimétricos y topografía del Canal Torca – Guaymaral que por su localización se encuentra dentro de su jurisdicción por encontrarse en Zona Rural del Distrito Capital.

En atención a la solicitud presentada por el IDIGER, la CAR mediante el Radicado 20162152498 del 29 de Noviembre de 2016 con Radicado IDIGER 2016ER20274, la CAR manifiesta:

"..que la construcción de jarillones en el tramo correspondiente a la cuenca media del río ya se ha adelantado entre Alicachín y la Desembocadura del río Juan Amarillo en una extensión de 52,5 kilómetros. Falta por ejecutarla en los últimos 16 kilómetros, entre el último punto anterior y el sitio Puente La Virgen, sector en el cual ya las obras han iniciado y se espera su culminación en un plazo de aproximadamente 8 meses."

"...entre Puente La Virgen y el Canal Torca (...) en el momento se efectúan los ajustes finales para los diseños los cuales se considera que estén terminados en el mes de enero de 2017."

Teniendo en cuenta lo mencionado, para el río Bogotá se han adelantado las medidas estructurales para mitigar el riesgo por desbordamiento en el tramo correspondiente a la cuenca media del río entre Alicachín y la desembocadura del río Salitre-Juan Amarillo en una extensión de 52.5 km como lo afirman las diferentes comunicaciones que se relacionaron en el apartado 6.6 Intervenciones realizadas en el río Bogotá.

Bajo este panorama, se tiene que el punto de partida para Bogotá es actualizar las condiciones de amenaza por inundación de acuerdo con la incorporación de las medidas estructurales que en su momento se plantearon en el Plan de Ordenamiento como medidas de mitigación del riesgo de inundación de la ciudad y que actualmente se ejecutan o se han ejecutado sobre el río Bogotá y sus afluentes.

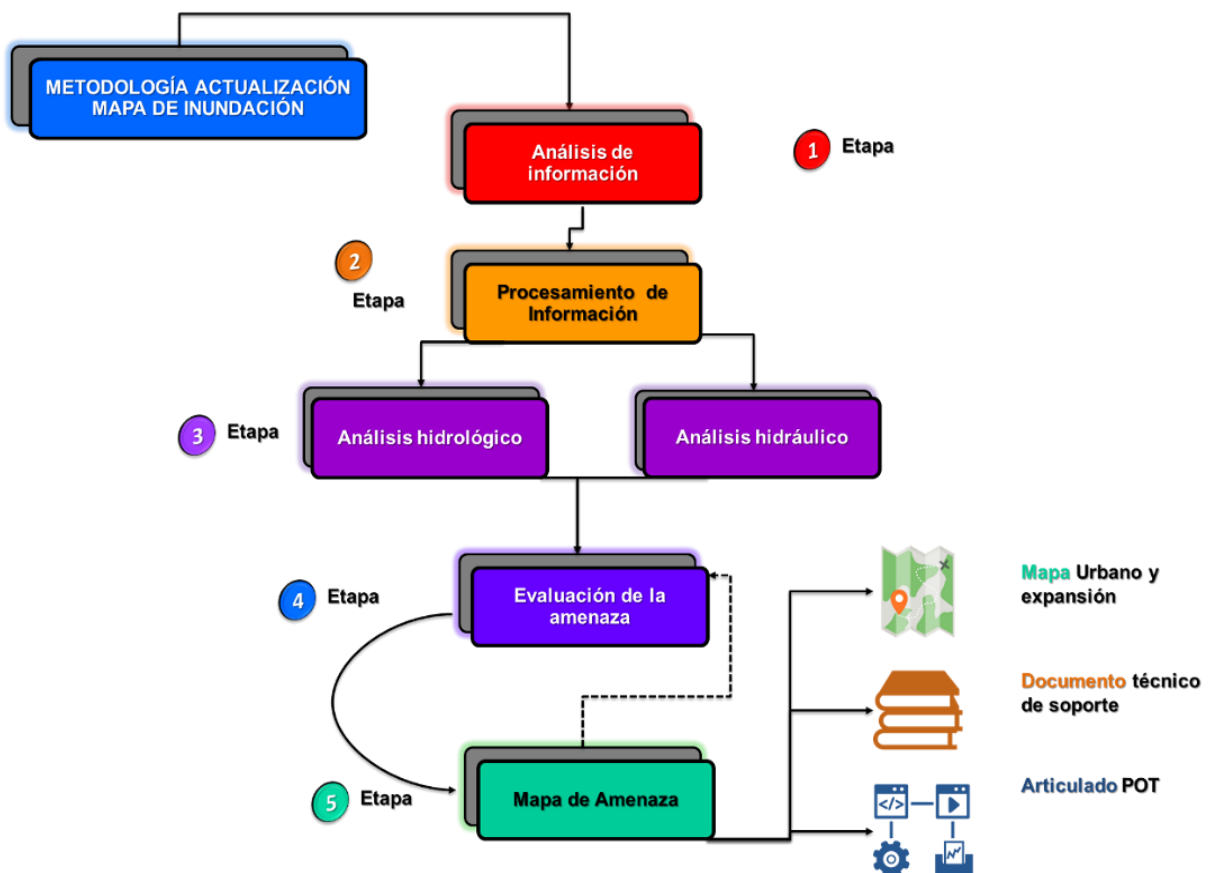
Página 135 de 306

Debido a lo descrito anteriormente el IDIGER dio inicio a la actualización del mapa normativo por inundación de cada uno de los cuerpos de agua, teniendo en cuenta las obras de adecuación hidráulica adelantadas para cada uno de estos, obteniendo el escenario actual a junio de 2017.

Adicionalmente se realizó la modelación con los diseños del tramo entre Puente La Virgen y el río Torca con la información suministrada por la CAR a través del FIAB en el mes de marzo de 2017 y la información de la EAB-ESP de marzo de 2018 para construir el escenario prospectivo de inundación.

La metodología planteada para la actualización de mapa contempla cinco (5) etapas como se presenta en la Figura 7.5.

Figura 7.5. Metodología de actualización Mapa de inundación (Actualización POT)



Fuente: Proyecto POT

La etapa 1 y 2 consiste en la revisión, análisis y procesamiento de la información recibida por cada una de las entidades (CAR y EAB – ESP), de donde se obtuvieron las bases para los análisis hidrológicos e hidráulicos que se desarrollaron en la etapa 3. A partir de los resultados de velocidades y láminas de agua obtenidos de los análisis hidráulicos se realizó la evaluación de la amenaza y la generación del mapa correspondiente (etapas 4 y 5).

Por último, como se ha anotado con relación al Encharcamiento, este es presentado en el Anexo 1. Encharcamiento donde se presenta el Documento Técnico de Soporte para la realización del Mapa de Susceptibilidad por Encharcamiento para la ciudad de Bogotá.

8 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN DISPONIBLE

Derivado de los antecedentes de emergencia ocurridos en la ciudad sobre la última década y de la implementación de las Medidas estructurales para mitigar el riesgo de inundación recomendadas en su momento en el Plan de Ordenamiento (Artículo 129 del Decreto 190 de 2004) y que actualmente se ejecutan o se han ejecutado en diferentes cuerpos de agua en el Distrito Capital, tales como las adelantadas en el Río Bogotá, en ríos, quebradas y humedales que hacen parte de la estructura ecológica del Distrito, en la actualidad se han modificado las condiciones hidrológicas e hidráulicas de los cuerpos de agua que influyen directamente en el comportamiento de la amenaza de inundación el Distrito Capital. De esta manera se plantea la necesidad de actualizar las condiciones de amenaza por inundación para la ciudad.

Definidos los requerimientos y alcances para la actualización de la amenaza por inundación, de acuerdo con los lineamientos del Decreto 1807 de 2014, se realizó la recopilación de información de forma metódica paso a paso y de manera coherente para obtener de esta forma resultados que contribuyeran al logro de los objetivos propuestos.

Durante el proceso de búsqueda de la información se incluyeron todas las variables relacionadas con el tema objeto de investigación. De esta manera se obtuvieron instrumentos y herramientas que permitieron filtrar y orientar la búsqueda de manera sistemática y objetiva. La calidad de la información recopilada, obtenida a partir de distintas fuentes, sirvió como insumo para adquirir ideas relevantes y potencialmente útiles para la toma decisiones durante el desarrollo del proyecto.

De esta manera, para el análisis de información el Decreto 1807 de 2014 (*"Por el cual se reglamenta el artículo 189 del Decreto ley 019 de 2012 en lo relativo a la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenamiento territorial y se dictan otras disposiciones"*), en su Artículo 6, se establece para la elaboración de estudios básicos y detallados, elaborar previamente análisis a la información técnica disponible, considerando aspectos relacionados con la información contenida en el plan de

ordenamiento territorial, estudios regionales, cartografía base, información de bases de datos institucionales y la información de redes de monitoreo de amenazas existentes.

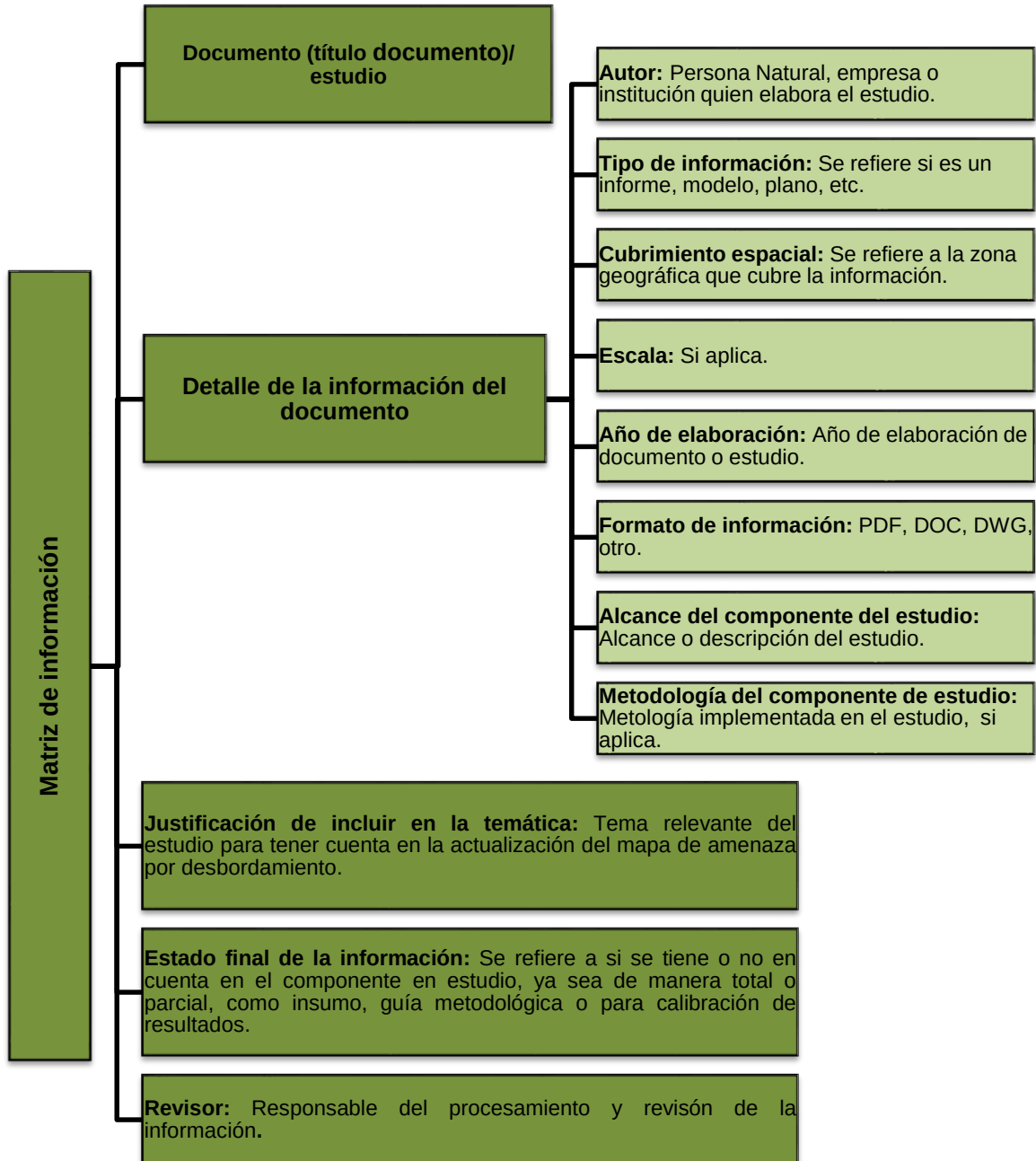
Derivado de lo anterior, se procedió a consultar información técnica relacionada con los estudios de soporte del plano normativo de amenaza de inundaciones por desbordamiento del Plan de Ordenamiento Territorial actual, información topo batimetría, cartográfica, modelos hidrológicos e hidráulicos, planes de manejo ambiental de cuencas y estudios de los principales cuerpos de agua de la ciudad de Bogotá, que en muchos casos fueron utilizados para la implementación de obras de adecuación hidráulica en varios cuerpos de agua del distrito. Sobre aclarar que la información consultada en el presente estudio debió ser aprobada y elaborada por autoridades y sectores competentes (CAR, EAB-ESP, SDP e IDIGER) cumpliendo las condiciones técnicas y de detalle establecidas en el mencionado decreto para este tipo de estudio.

A partir de la recopilación de la información entregada por cada una de las entidades, requerida para la estimación de amenazas según el decreto en mención, fue necesario realizar análisis cuantitativos y cualitativos que permitieron clasificar la información recopilada. La revisión cuantitativa de la información se orientó principalmente hacia los estudios que exponen clasificación de datos numéricos y variables previamente determinadas, los cuales brindan una realidad específica en cuanto a la temática de inundaciones de acuerdo con los resultados obtenidos en cada documento consultado. Por otra parte, los análisis cualitativos de la información se fundamentaron en identificar y relacionar todas aquellas metodologías y procedimientos que ayudaron a complementar los estudios cuantitativos.

Como resultado de los análisis anteriormente descritos, se elaboró el inventario de la información técnica disponible, que facilitó su clasificación de acuerdo con el alcance y pertinencia para el proyecto, teniendo en cuenta lo estipulado en el decreto 1807 de 2014, relacionado a insumos mínimos, área de estudio, alcance, zonificación y productos, para establecer las acciones técnicas y metodologías a emplear para dar cumplimiento al objeto del estudio.

La información utilizada para el desarrollo del proyecto se clasificó según: el autor, tipo de información, cubrimiento espacial, escala del estudio, año de elaboración, formato de información, alcance y metodología implementada. Así mismo se justificó para cada documento revisado, si es relevante o no para el proyecto. Para mayor detalle en el anexo 4 se puede consultar la matriz construida. En la Figura 8.1 se presenta un cuadro explicativo de la estructura implementada para consolidar la base de datos de la información consultada.

Figura 8.1. Estructura base de datos- Información recopilada.



Fuente: Proyecto POT

8.1 ORIGEN Y USO DE LA INFORMACIÓN

Los estudios hidrológicos e hidráulicos desarrollados para diferentes cuerpos de agua en la ciudad fueron la línea base para realizar la actualización de la condición de amenaza por inundación y planos actualizados a incorporar en la revisión del POT.

En este sentido, la información requerida fue seleccionada con base en la identificación previa de los cuerpos de agua (lénticos y lóticos), que definen el comportamiento de las inundaciones por desbordamiento en la ciudad, de acuerdo con la extensión y área de cada uno. De esta manera, se inició con la adquisición de todos los documentos, estudios, informes, diseño de obras de reconfiguración hidráulica, planes de ordenamiento y manejo de cuencas (POMCAS) y demás documentos relacionados con el río Bogotá y sus principales aferentes, Canal Torca, río Salitre – Juan Amarillo, río Fucha y río Tunjuelo. Posteriormente se consultaron todos los estudios disponibles de reconfiguración hidrogeomorfológica y restauración ecológica de humedales y quebradas de la ciudad, además de la información relacionada con los principales canales pluviales que conforman el sistema de drenaje actual.

La información consultada y utilizada se presenta en el Anexo 4. Base de Datos de Información.

Tabla 8.1. Fuentes de información consultada.

Fuente	No. Documentos	%
IDIGER	373	59.7
EAB	104	16.6
CAR	78	12.5
OTRO	40	6.4
SDA	17	2.7
INSTITUCIONES EDUCATIVAS	8	1.3
MINAMBIENTE	2	0.3
Fondo Adaptación	1	0.2
IDEAM	1	0.2
SDP	1	0.2
Total	625	100

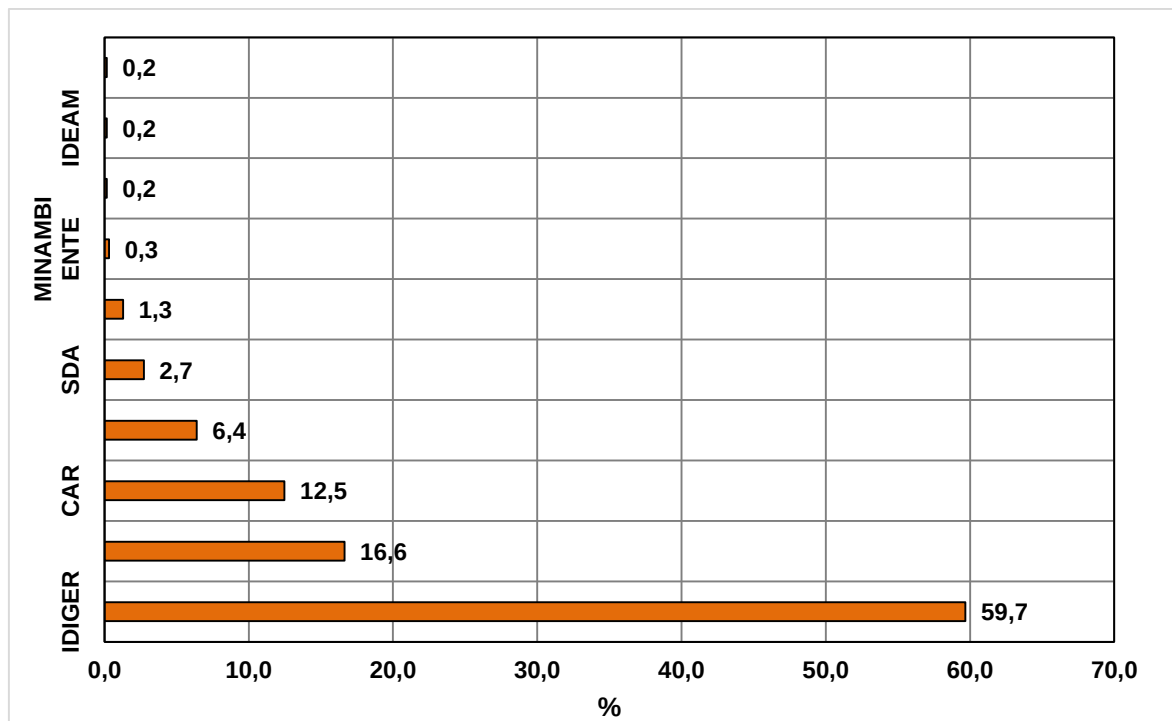
Fuente: Proyecto POT

La información revisada, fue obtenida mediante gestión realizada ante diferentes medios y entidades de carácter privado, público a nivel regional y distrital, empresas prestadoras de servicios públicos e instituciones educativas, que han adelantado estudios en las zonas de interés o que son pertinentes para los fines del proyecto. Para ello se emitieron

solicitudes escritas a cada una de las entidades y posteriormente se coordinaron mesas de trabajo, explicando los alcances y uso de la misma.

Como es posible apreciar en la Tabla 8.1, la mayor cantidad de documentos consultados pertenecen al IDIGER (373), correspondientes a conceptos y diagnósticos técnicos emitidos para diferentes puntos de la ciudad, relacionados con eventos o sectores propensos a inundaciones. Sin embargo, a partir de la información allegada por la CAR y la EAB-ESP, para un total de 182 documentos, se obtuvieron los principales insumos de topográfica, hidrológica e hidráulica, requeridos como información base para el desarrollo del proyecto.

Figura8.2. Documentación consultada por fuente.

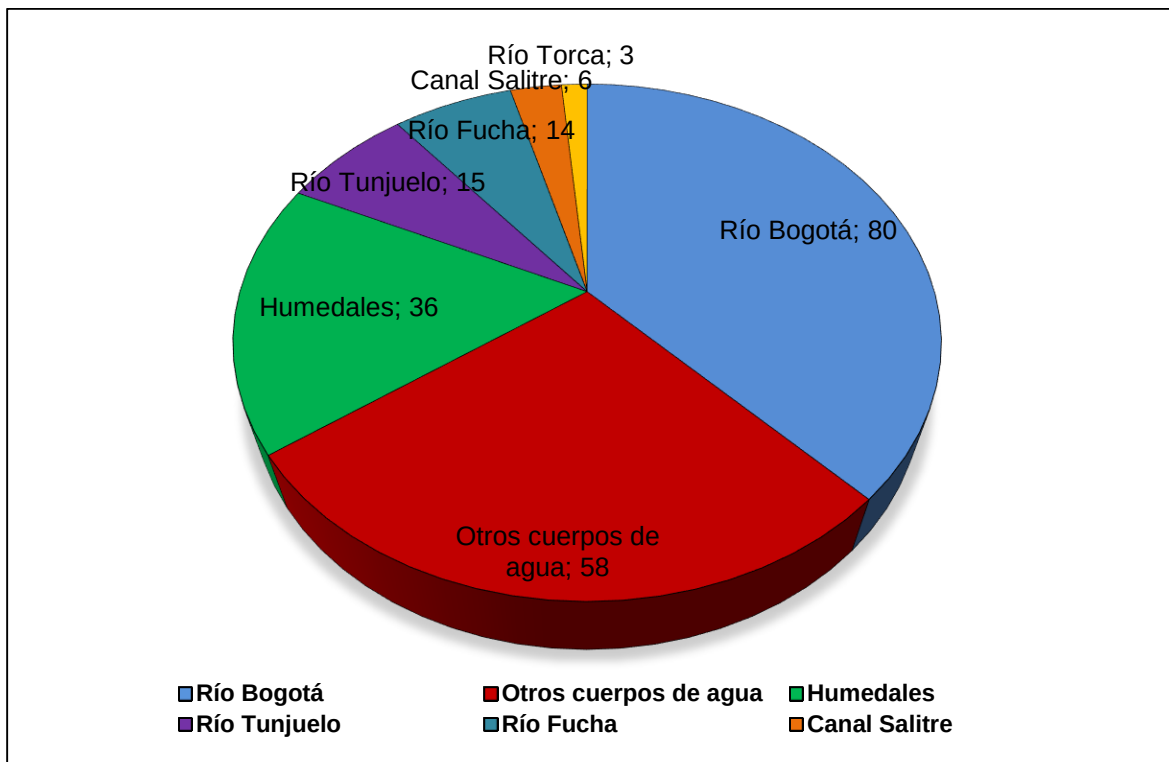


La revisión de documentación recibida fue orientada en encontrar especialmente todos aquellos insumos relacionados con información topográfica, geotécnica, hidrológica e hidráulica para cada uno de los cuerpos de agua de la ciudad.

Así mismo, se revisó la información allegada por diferentes entidades a nivel nacional, regional y distrital, de universidades y otros relacionados con estudios de consultores privados, artículos y publicaciones, muchos de ellos afines con metodologías de análisis para determinar las zonas de Amenaza por Inundación por desbordamiento, ver Figura8.2

El cubrimiento espacial de los diferentes documentos consultados abarca principalmente la cuenca media del río Bogotá, algunos humedales de la ciudad y en orden descendente el río Tunjuelo, Fucha, Salitre y Torca. Sin embargo, también se encontraron documentos para diferentes cuerpos de agua de la ciudad como canales y quebradas, y otros estudios desarrollados por barrios y localidades de índole general para el distrito. En la Figura 8.3 se muestra la distribución de estudios consultados por cuerpo de agua en la ciudad de Bogotá, indicando la cantidad de documentos para cada uno.

Figura 8.3. Documentación consultada de los principales cuerpos de agua de la ciudad de Bogotá.



Fuente: Proyecto POT

Adicionalmente se analizó la información relacionada con los humedales de la ciudad, principalmente la de aquellos ubicados en inmediaciones del río Bogotá y a sus principales aferentes, como lo son el humedal Torca- Guaymaral, La Conejera, Juan Amarillo, Jaboque y Córdoba. Así mismo, se obtuvo información de algunas quebradas y canales importantes para el drenaje pluvial de la ciudad, iniciando en la cuenca Torca donde se obtuvo información de los canales Cedro y Torca. Para la cuenca del río Salitre se resaltan los canales Córdoba, Callejas, Molinos, Virrey y Arzobispo; así mismo se obtuvo información de los canales Comuneros, San Francisco, Canal Albina y río Seco,

Página 142 de 306

que hacen parte de la cuenca del río Fucha y finalmente para la cuenca del río Tunjuelo se obtuvo información de varias quebradas importantes tales como Limas, Trompeta y Chiguaza.

8.2 LIMITACIONES EN LA CONSECUCCIÓN DE LA INFORMACIÓN

Las principales limitaciones, asociadas durante el análisis de la documentación recopilada, se evidenciaron en el proceso de homogenización de la información y de las metodologías empleadas en cada uno de los modelos hidrológicos e hidráulicos desarrollados para diferentes cuerpos de agua, sin olvidar las referencias espaciales de cada estudio, debido a que presentan diferentes fuentes de coordenadas.

Adicionalmente, las distintas escalas utilizadas en cada uno de los estudios analizados difieren en muchos casos con lo sugerido por el decreto 1807, siendo para suelo rural la escala 1:25000 y para suelo urbano, de expansión y centros poblados 1:5.000. Dicha situación conlleva a un arduo trabajo a través de diferentes herramientas de información geográfica, con el fin de lograr homogenizar gran parte de la información recibida.

Por otro lado, la discrepancia entre las fechas de elaboración de cada estudio consultado tiene implícito la utilización de diferentes programas computacionales en distintas versiones acordes a la época de su elaboración, dificultando en algunos casos la lectura de modelos y resultados obtenidos.

Por otro lado, gran parte de la información topográfica y batimétrica consultada no refleja el estado actual de varios cuerpos de agua, dado que durante la última década éstos han sido intervenidos y por tanto, los datos topográficos se encuentran desactualizados.

Finalmente se tuvieron otras limitaciones con la información analizada, tales como:

- Archivos dañados que no permitían su lectura o manipulación, siendo necesario volver hacer la solicitud de la misma ante la entidad respectiva.
- Tiempos de respuesta considerables por parte de varias entidades para entregar la información solicitada.
- Información incompleta y/o en formatos no editables.

8.3 ESTUDIOS BÁSICOS DE REFERENCIA

Como resultado del proceso de depuración realizado a la información recopilada, de los 625 documentos consultados, el 90% fue utilizado (561) de manera total o parcial, como insumo, guía metodológica o para calibración de resultados. El 10% restante (64) ha sido descartada por ser información no relevante para el presente estudio. Del total de documentos utilizados (561), el 98% se encuentran asociados a diferentes cuerpos de

agua de la ciudad, como ríos, quebradas, canales y humedales, según la distribución presentada en la Tabla 8.2.

Dentro de los principales estudios utilizados como información base, se resaltan los entregados por la CAR para el río Bogotá, principalmente aquellos que comprenden su adecuación hidráulica desde el sector de Alicachín hasta Puente la Virgen en el norte de Bogotá.

De igual forma se eligieron los estudios con mayor relevancia, contratados en su gran mayoría por la EAB, para las subcuencas del canal Torca, río Salitre – Juan Amarillo, Fucha y Tunjuelo, y los humedales Torca - Guaymaral Conejera, Córdoba, Juan amarillo y Jaboco.

Para la cuenca del Canal Torca fue de gran ayuda los estudios contratados por privados a través de universidades, para determinar la condición de amenaza en el sector de Bima, debido a las obras de adecuación hidráulica implementadas.

Tabla 8.2. Documentos consultados por cuerpos de agua.

Fuente	NÚMERO DOCUMENTOS RELACIONADOS CON:						
	Río Bogotá	Canal Torca	Canal Salitre	Río Fucha	Río Tunjuelo	Humedales	Otras Quebradas y Canales y áreas a nivel distrital
CAR	52	-	-	-	2	1	7
EAB-ESP	1	-	2	5	10	15	34
FONDO ADAPTACIÓN	-	-	-	-	-	-	1
IDIGER	283	-	-	-	-	-	90
MINAMBIENTE	-	-	-	-	-	-	2
OTROS	5	1	2	4	1	-	3
SDA	-	-	-	-	-	16	-
SDP	-	-	-	-	-	-	1
INSTITUCIONES EDUCATIVAS	-	4	-	1	-	3	-

Fuente: Proyecto POT

Finalmente se relaciona a continuación los estudios base de mayor relevancia, empleados para los principales cuerpos de agua, los cuales sirvieron de base para construir los modelos hidrológicos e hidráulicos necesarios para lograr la actualización de los mapas de amenaza por inundación.

Tabla 8.3. Principales estudios base analizados.

Cuerpo de agua	Nombre Estudio	Fecha recibida	Entidad	Año
Río Bogotá	Proyecto de Adecuación Hidráulica y Recuperación Ambiental del río Bogotá	15 de julio de 2016	CAR	2011
Río Tunjuelo	Sistema de Alerta Temprana Río Tunjuelo	Agosto de 2010	IDIGER	2010
	Modelación Hidráulica Para Las Cuencas de los Ríos Tunjuelo Y Fucha En Las Condiciones Actuales. I.H.T. LTDA 2000. Contrato No. 2-02-25500-738-2009. EAB	18 de julio de 2016	EAB-ESP	2010
	Diseños para Construcción de las Obras para el Control de Crecientes en la Cuenca del Río Tunjuelo. INGETEC 2000. Contrato No. 1-02-4100-224-2000. EAB	15 de agosto de 2016	EAB	2002
Río Fucha	Modelación hidráulica para las cuencas de los ríos Tunjuelo y Fucha en las condiciones actuales. Contrato 2-02-25500-738-2009	18 de julio de 2016	EAB	2010
	Producto # 3			
	Modelación Hidráulica Río Fucha	15 de septiembre de 2016	-	2007
	Planos Record Río Fucha. Estudios Técnicos S.A. - ConCol			
	Plan Maestro de Alcantarillado: Modelo del sistema de alcantarillado en el programa Sewer Gems	2 de septiembre de 2016	EAB	2015
Río Salitre – Juan Amarillo	Plan Maestro de Alcantarillado: Modelo del sistema de alcantarillado en el programa Sewer Gems	2 de septiembre de 2016	EAB	2015
	Modelo Digital de Elevación de Alta Resolución. Humedal Juan Amarillo, perfiles y secciones transversales.	22 de septiembre de 2016	EAB	2011



**ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.**

AMBIENTE
Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático

Cuerpo de agua	Nombre Estudio	Fecha recibida	Entidad	Año
	Consultoría para desarrollar el rediseño, presupuesto detallado, plan de manejo ambiental de las obras y plan de manejo y monitoreo de la adecuación hidrogeomorfológica para la restauración ecológica de los Tercios medio y bajo, Chucua de Colsubsidio y Brazo del humedal Juan Amarillo o Tibabuyes. INGETEC 2007. Contrato No. 1-02-24100-832-2006. EAB	10 de julio de 2015	EAB	2007
Canal Torca	Plan Maestro de Alcantarillado: Modelo del sistema de alcantarillado en el programa Sewer Gems	2 de septiembre de 2016	EAB	2015
	Estudio de amenaza por inundación del Centro Comercial Outlet Bima	15 enero de 2017	Universidad de Los Andes	2015
Bogotá	Cartografía. Secretaria Distrital de Planeación	10 de julio de 2015	SDP	2015

Fuente: Proyecto POT

Dada la importancia de la información utilizada, a continuación se hace una pequeña descripción del proyecto de Adecuación Hidráulica y Recuperación Ambiental que actualmente adelanta la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR, esta información fue tomada y adaptada del documento denominado “Documento General del Proyecto de Adecuación Hidráulica y Recuperación Ambiental” desarrollado por el Fondo para las Inversiones Ambientales en la Cuenca del río Bogotá – FIAB, que recopila los estudios técnicos realizados por la CAR en este proyecto.

De acuerdo con el documento mencionado anteriormente, uno de los principales objetivos con respecto al control de inundaciones del río Bogotá en el Distrito Capital “...es el diseño y construcción de las obras requeridas para el control de inundaciones debidas al río Bogotá para una condición de niveles con un periodo de retorno de 500 años, en el tramo comprendido entre Puente La Virgen y Alicachín. El diseño de dichas obras contemplan la ejecución de un proyecto con múltiples objetivos y cuya ejecución deberá ser realizada teniendo como base la tendencia actual de darle a los ríos un manejo multipropósito: buscando un balance entre los usos beneficiosos para generación de energía, suministro de agua y agricultura, con la protección y potenciación del hábitat...”



Generalidades del proyecto

De conformidad con los acuerdos interinstitucionales celebrados entre la CAR y el Distrito Capital a través de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá - EAB – ESP y la Secretaría Distrital de Ambiente, suscritos mediante el Acuerdo Interinstitucional del 24 de noviembre de 2006, que permitieron posteriormente suscribir el Convenio Interadministrativo 171 de 2007. Este último recoge parte de los proyectos establecidos por el gobierno nacional en el denominado “Megaproyecto río Bogotá” a través del documento CONPES 3320 de 2004 y las responsabilidades determinadas en el fallo del Tribunal de Cundinamarca de 2009 “Por el cual se resuelve una acción de tutela de la EAB – ESP en contra de la CAR”.

En el Convenio mencionado, la Corporación se compromete a invertir y ejecutar los recursos provenientes de la tasa ambiental del Distrito Capital en los proyectos: Ampliación y optimización de la PTAR el Salitre y la adecuación hidráulica del río Bogotá. Dichos acuerdos son materializados en el Convenio 0171 del 26 de junio de 2007 cuyo objeto es aunar esfuerzos para contribuir al logro del saneamiento ambiental del río Bogotá en el marco del que se ha denominado “Megaproyecto río Bogotá”.

En el Convenio 171 de 2007, se establecieron claramente las responsabilidades que dentro del denominado “Megaproyecto río Bogotá” le corresponden tanto a la EAB – ESP como a la CAR con el objeto de aunar esfuerzos para contribuir al logro del saneamiento ambiental del río Bogotá. El Convenio estableció que la EAB-ESP tendría a cargo las siguientes obras:

- Obras para el manejo de caudales de la cuenca del río Salitre
- Interceptor Engativá - Cortijo
- Interceptor Fucha - Tunjuelo
- Interceptor Tunjuelo - Canoas
- Estación Elevadora de Tunjuelo
- Estación Elevadora de Canoas
- Obras complementarias de interceptores y estaciones
- Construcción y operación de la PTAR Canoas

Por su parte, el mismo convenio estableció para la CAR con cargo al Fondo para las Inversiones Ambientales en la Cuenca del río Bogotá - FIAB, los siguientes Proyectos a ejecutar:

- Tratamiento de las aguas residuales de las cuencas de los ríos Salitre, Torca y Jaboque en el sitio denominado PTAR El Salitre.
- Conducción final de estas aguas tratadas hasta el Distrito de Riego La Ramada
- Adecuación Hidráulica del río Bogotá
- Obras complementarias de adecuación hidráulica del río Bogotá
- Otros proyectos que se definan de común acuerdo entre las partes del Convenio

Al interior de la CAR y con el fin de llevar de manera articulada las responsabilidades de saneamiento del río Bogotá, se definió el alcance del Proyecto de Saneamiento y Adecuación Hidráulica del río Bogotá de la siguiente manera:

- Efectuar la adecuación hidráulica del río Bogotá y sus obras complementarias entre los sectores comprendidos entre Puente La Virgen en el municipio de Cota y el sector de Alicachín en el municipio de Soacha.
- Ampliación de la planta de tratamiento de aguas residuales existente en Bogotá en el sitio denominado PTAR El Salitre, llevándola de un tratamiento primario con un caudal de 4 m³/s a un tratamiento secundario y con desinfección a un caudal promedio de 8 m³/s.

Desde el inicio de la planeación del proyecto la Subdirección de Desarrollo Ambiental Sostenible de la CAR inició tres acciones paralelas que permitirían estructurar de manera integral el Proyecto y que se describen a continuación:

- Estudios para la adecuación hidráulica del río Bogotá
- Estudios para la ampliación y optimización de la PTAR Salitre
- Gestión institucional para la consecución de un crédito con la Banca Multilateral que permitiera complementar las fuentes de financiación para la ejecución del Proyecto.

Para llevar a cabo la primera acción, se inició un estudio detallado de recopilación, diagnóstico y procesamiento de información disponible, con base en la cual se tomó la decisión de realizar los estudios que se identificaron como faltantes, contando para ello con la coordinación directa del Subdirector de Desarrollo Ambiental Sostenible a través de la función asesora encomendada al interior de la CAR a la Oficina Asesora de la Dirección General para el FIAB, oficina dependiente del Director General de la CAR.

Con el objeto de adelantar los diseños requeridos para la ejecución de las obras de la Adecuación Hidráulica, la CAR contrató, en algunos casos, y adelantó de manera propia, en otros, todos los estudios básicos y de consultoría necesarios para desarrollar la propuesta técnica, el diseño, las especificaciones, las cantidades de obra y estimaciones de costos de todo el Proyecto. Adicionalmente elaboró los Diseños Paisajísticos, el estudio de Evaluación y Manejo Ambiental y el Plan de Gestión Social.

Para la segunda acción, se ha adelantado un trabajo conjunto entre la CAR y la EAB – ESP, en el marco del Convenio Interadministrativo 171 de 2007, procediendo a dividir este alcance de las actividades en dos fases:

i) En la primera se han llevado a cabo los diseños básicos de referencia con lo cual se ha podido determinar y evaluar las posibles alternativas de tratamiento que se tendrán en el esquema de saneamiento del río; se han seleccionado las tres (3) alternativas más viables de acuerdo con los estudios técnicos y se han efectuado importantes comparaciones entre los índices base de tratamiento y la situación actual del sistema, con

Página 148 de 306

el fin de identificar y llevar a nivel de perfil la solución definitiva que permitirá la continuidad del sistema.

ii) En la segunda fase se tomarán los insumos de la primera fase y se concentrará la actuación en la contratación de los diseños definitivos a nivel de detalle, los diseños de construcción, la construcción y la puesta en marcha de la ampliación del sistema de tratamiento de las aguas residuales provenientes de las cuencas de Torca, Salitre y el Jaboque.

La tercera acción de las incluidas en la planeación del Proyecto consistió en las gestiones de orden institucional, financiero, técnico, social, jurídico y ambiental para la obtención de un crédito con la Banca Multilateral.

Así las cosas, al ejecutar las tres acciones anteriores, la CAR tiene la certeza que la recuperación del río Bogotá en el sector comprendido entre Puente La Virgen y Alicachín, se ha estructurado con una visión holista en donde se integran aspectos de ingeniería, arquitectura, biología y de gestión social, integrando las diferentes ciencias hacia un objetivo común. “DEVOLVERLE AL RÍO LO QUE ES DEL RÍO”.

Información general de los estudios y diseños.

Con el objeto de adelantar los diseños requeridos para la ejecución de las obras de la Adecuación Hidráulica, la CAR contrató en algunos casos y desarrollo en otros, todos los estudios básicos y de consultoría necesarios para desarrollar la propuesta técnica, el diseño, las especificaciones, las cantidades de obra y costos de todo el proyecto. Adicionalmente elaboró los Diseños Paisajísticos, el estudio de Evaluación y Manejo Ambiental y el Plan de Gestión Social.

A continuación se detallan los estudios y diseños elaborados.

- **ESTUDIOS TOPOBATIMÉTRICOS.**
Fueron ejecutados por la Unión Temporal MERRICK and AIL según contrato No. 516 de 2007.
- **ESTUDIOS Y DISEÑOS HIDRÁULICOS.**
Esta consultoría la realizó el Ingeniero Hidráulico Germán Monsalve según contrato No. 0027 de 2008
- **ESTUDIOS Y DISEÑOS GEOTÉCNICOS.**
Los ejecuto la Universidad Nacional de Colombia a través del Convenio Interinstitucional No. 514 del año 2007.
- **CARACTERIZACIÓN DE LODOS DEL RÍO BOGOTÁ.**
Los realizó el Laboratorio Ambiental de la Universidad de Los Andes, según contrato No 0393 de 2007.
- **ESTUDIOS EVALUACIÓN PREDIAL,**

Los realizo la firma AVALES INGENIERÍA INMOBILIARIA LTDA. Según contrato No.416 de 2008.

- **DISEÑOS GEOMÉTRICOS.**

Fueron realizados por el Ingeniero Guillermo Cruz y la Ingeniera Nohora Lucía Calderón profesionales del Grupo FIAB.

- **ESTUDIOS HIDROGEOLÓGICOS.**

Estos estudios los realizó el Ingeniero Aníbal Acosta Pulido coordinador del grupo técnico del FIAB.

- **DISEÑOS PAISAJÍSTICOS.**

Los elaboró la Arquitecta Ángela de Francisco y el Arquitecto Richard Hernández del grupo FIAB.

- **COMPONENTE BIÓTICO.**

Su estudio fue elaborado por la Bióloga Ángela María Echeverri y el Biólogo Alejandro Torres del FIAB.

- **COMPONENTE SOCIAL.**

Elaborado por las trabajadoras sociales del FIAB, Diana Contreras, Gina Paola Sánchez y Norma Carmona del FIAB.

- **DISEÑOS GEOMÉTRICOS, ELABORACIÓN DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS Y PRESUPUESTOS.**

Los elaboró el Ingeniero Guillermo Cruz del Grupo FIAB de la Corporación.

- **ESTUDIO AMBIENTAL.**

Este estudio fue realizado por la Ingeniera Ambiental Alejandra Catacolí, y la Ingeniera Martha Luz Bugallo del FIAB.

Con base en los estudios desarrollados se consiguió adelantar una propuesta de Adecuación Hidráulica, a fin de ampliar y conformar el cauce y la zona de inundación del río Bogotá que además de servir como solución desde el punto de vista de ingeniería para el control de inundaciones y el drenaje de la ciudad.

8.4 PROCESO METODOLÓGICO

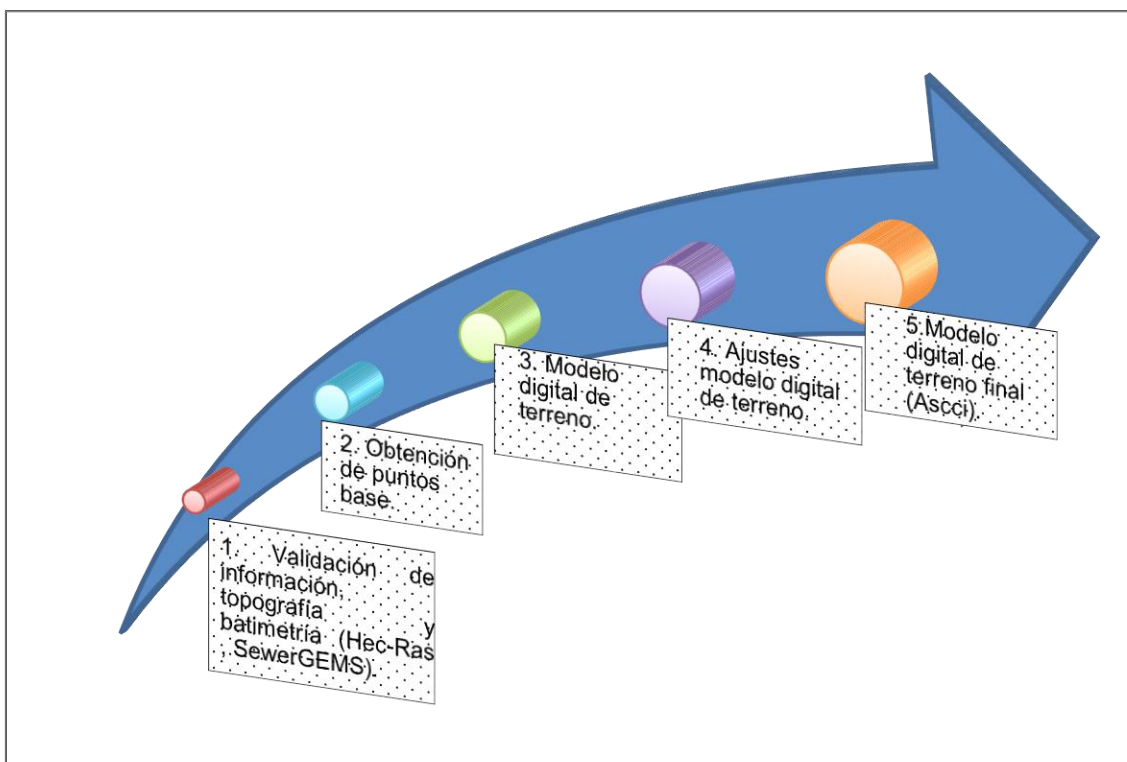
8.4.1 Procesamiento de la información

Debido a la variedad de formatos en que fue entregada la información analizada, hubo la necesidad realizar su procesamiento, con el fin de obtener insumos adecuados, que sirvieran para construir el modelo hidráulico de cada uno de los cuerpos de agua que definen la condición de amenaza por inundación en la ciudad de Bogotá.

Dentro de los cuerpos de agua elegidos, se tiene como principal drenaje el río Bogotá, en el tramo correspondiente entre la desembocadura del humedal Torca al norte de la ciudad hasta las compuertas de Alicachin en límites con los municipios de Soacha y Mosquera, seguido de sus principales aferentes como lo son el humedal y canal Torca, Humedal la Conejera, Río Salitre – Juan Amarillo, humedal Jaboque y los ríos Fucha y Tunjuelo.

Una vez identificado el estado de la información recibida, se diseñó la metodología para unificar los formatos de cada cuerpo de agua, para finalmente poder cargar los modelos en el programa de modelación elegido.

Figura 8.4. Procesamiento de información.



Fuente: Proyecto POT

8.4.1.1 Validación de información

De manera general, la información de cada uno de los cuerpos de agua modelados se hallaba en formatos únicos, compatibles con diferentes programas de cómputo tales como HEC-RAS (Hydrological Engineering Center – River Analysis System) correspondiente a un programa de modelización hidráulica unidimensional de ríos y canales, y en el programa SEWER GEMS, que sirve para crear y preparar modelos de alcantarillado.

Adicionalmente se contó con información topográfica y batimétrica de los cuerpos de agua levantada mediante modelos de elevación digital, en formatos DWG (DraWinG) o DXF (Drawing Exchange Format), que en muchos casos corresponde a información de años anteriores, donde pueden existir discrepancias con las condiciones actuales de los

cuerpos de agua. En la Tabla 8.4, se relaciona de manera detalla los formatos de la información recibida para cada uno de los cuerpos modelados.

Tabla 8.4. Formatos de información recibida.

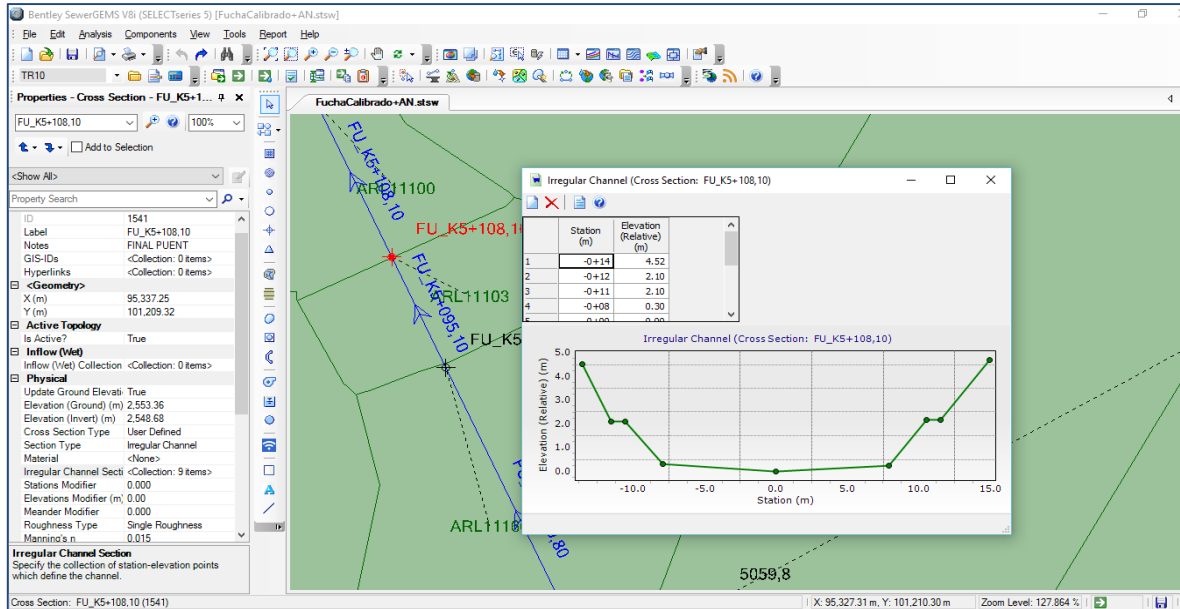
Cuerpo de agua	Formato información
Río Bogotá	Modelo de elevación digital en formato SHAPE y RASTER. Levantamiento topobatemétrico en formato DWG (nubes de puntos y curvas de nivel). Modelo Hec-Ras.
Humedal Torca y Guaymaral	Información topobatemétrica en DWG. Modelo FLO-2D.
Canal Torca y principales aferentes	Eje de canal y secciones transversales extraídas de modelo SewerGEMS.
Canal Salitre	Eje de canal y secciones transversales extraídas de modelo SewerGEMS.
Humedal Juan Amarillo	Modelo hidráulico en Hec-Ras. Modelo Digital de Elevación de Alta Resolución en formato RASTER.
Humedal Córdoba	Levantamiento topobatemétrico en formato DWG (nubes de puntos).
Canales Callejas, Molinos y Córdoba	Ejes de canal y secciones transversales extraídas de modelo SewerGEMS.
Humedal Jaboque	Modelo Digital de Elevación en formato RASTER.
Río Fucha	Modelo hidráulico en Hec-Ras. Modelo SewerGEMS.
Río Tunjuelo	Modelo hidráulico en Hec-Ras. Información topobatemétrica en DWG.

Fuente: Proyecto POT

8.4.1.2 Obtención de puntos base

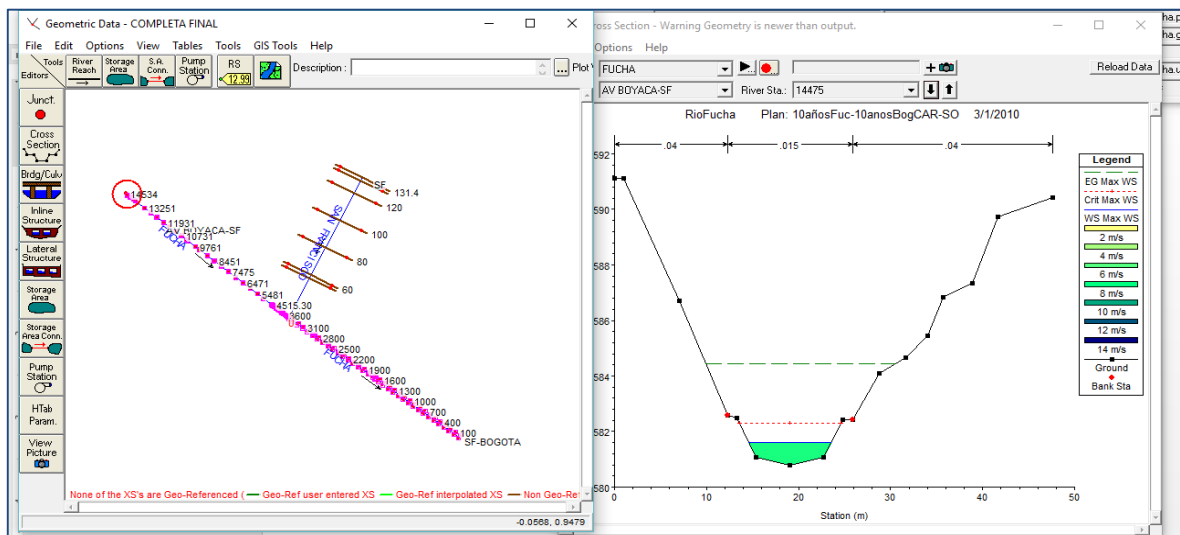
Los puntos base se obtienen como producto del procesamiento de la información mediante el uso de Sistemas Asistidos por Computadora CAD. Para la mayoría de cuerpos de agua, los datos geométricos que conforman las secciones transversales y el eje principal de cada cauce fueron obtenidos a partir de los modelos SewerGEMS y Hec-Ras (Ver Figura 8.5 y Figura 8.6).

Figura 8.5. Se muestra la información procedente de un modelo en SewerGEMS.



Fuente: EAB-ESP, 2015

Figura 8.6. Se muestra la información procedente de un modelo en HEC-RAS.



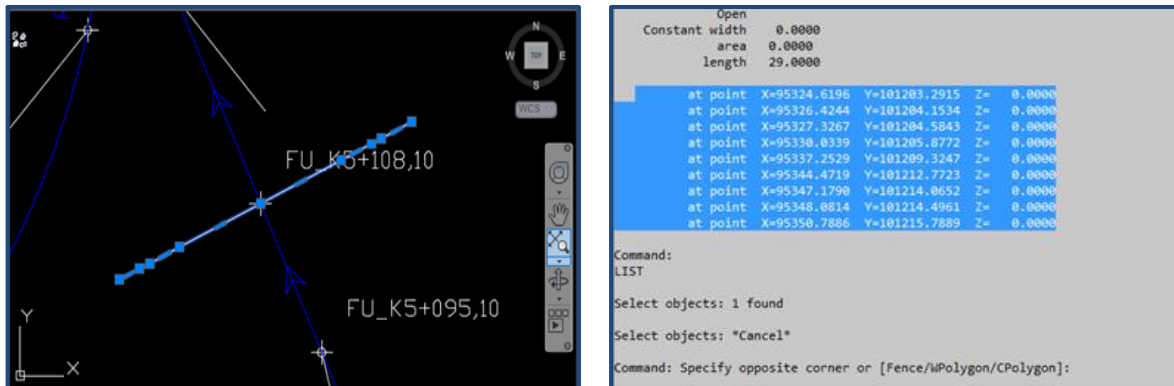
Fuente: EAB-ESP, 2015

Dicho procesamiento abarcó buena parte del tiempo destinado para la elaboración del proyecto, debido a que fue necesario georeferenciar nuevamente algunos elementos geométricos, sin olvidar la extensión de los cauces que forman los drenajes

Página 153 de 306

principales de cada subcuenca a nivel distrital, que en muchos atraviesan la ciudad de oriente a occidente.

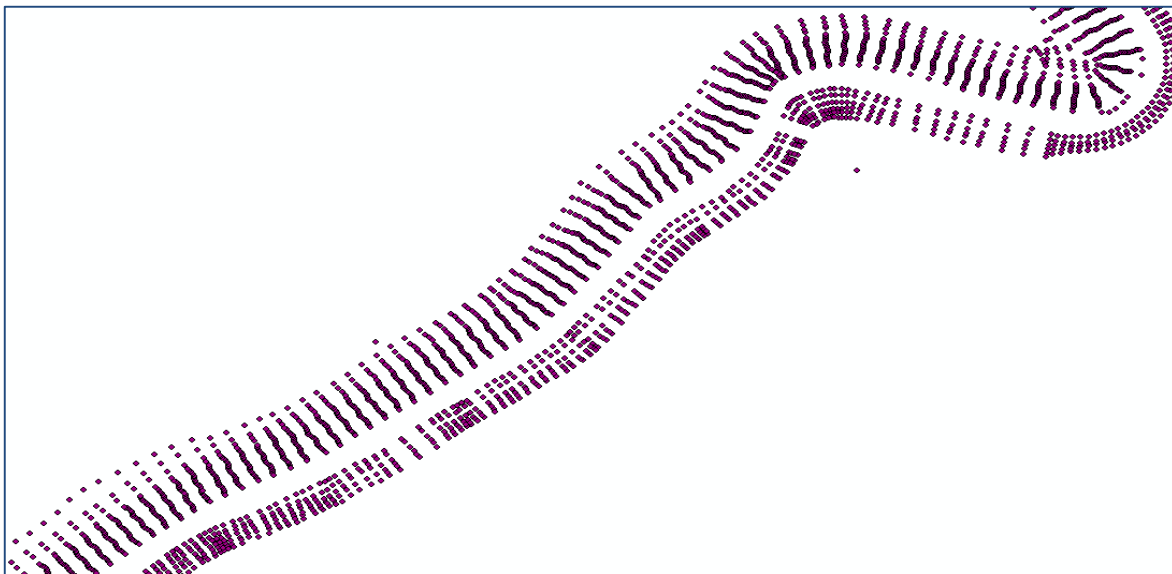
Figura 8.7. Asignación de elevaciones para cada elemento.



Fuente: Proyecto POT

Una vez georreferenciada la geometría de cada cuerpo de agua, relacionada con ejes de los cauces y sus secciones transversales, se procedió asignar para cada elemento la información correspondiente a la elevación digital de terreno y esta forma lograr obtener los puntos base, como se puede apreciar en la Figura 8.8.

Figura 8.8. Puntos base obtenidos.



Fuente: CAR, 2015

8.4.1.3 Modelo Digital de Terreno

A partir de la base de puntos obtenidos en el proceso anterior, se debe construir el modelo digital de terreno que represente la distribución espacial topográfica y batimétrica para cada cuerpo de agua, a partir de un sistema de referencia o coordenadas establecido para la ciudad de Bogotá. Este procesamiento fue elaborado empleando herramientas derivadas de los sistemas de información geográfica, que permiten la captura, edición, análisis, tratamiento y diseño información geográfica.

Inicialmente, a partir de los puntos base, se construyen superficies tipo TIN, las cuales se construyen mediante la triangulación de un conjunto de vértices (puntos) y están conectados con una serie de aristas para formar una red de triángulos y así obtener una representación visual de las elevaciones del terreno.

Figura 8.9. Superficie TIN generada a partir de puntos base.



Fuente: Proyecto POT

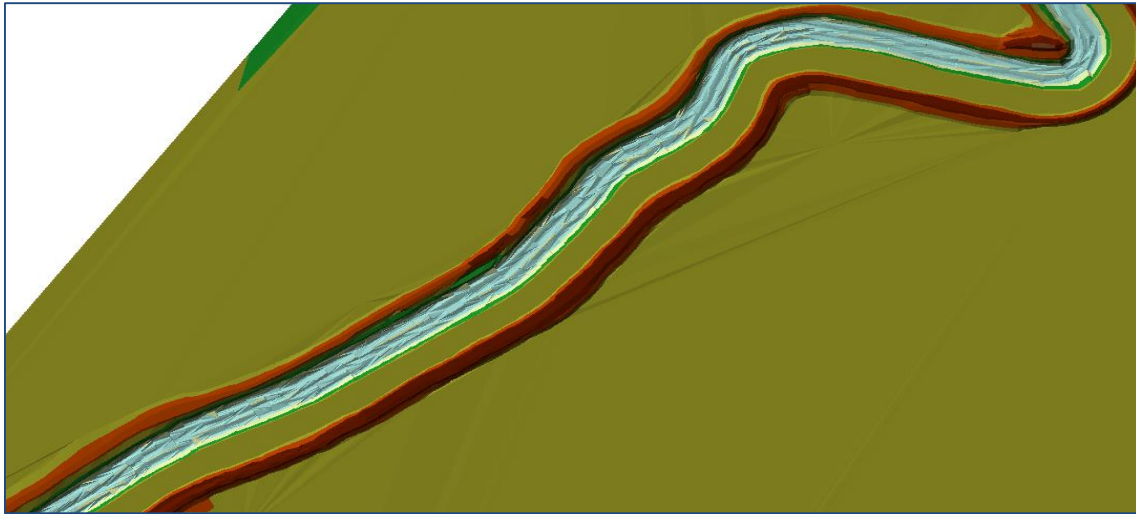
8.4.1.4 Ajustes Modelo Digital de Terreno

Durante la etapa de ajustes al modelo digital de terreno, se corrigieron todos los posibles errores e incongruencias evidenciadas, tales como puntos bajos con respecto a la tendencia de la geometría o discontinuidad en elementos como jarillones o diques que

Página 155 de 306

puedan influenciar en el comportamiento hidrodinámico de cada cauce. En la figura 8-6 se aprecian algunas zonas que presentan discontinuidades o puntos bajos, en este caso el jarillón del río Bogotá. De esta forma se realizan ajustes mediante el uso de fotografías aéreas y visitas en campo que permitan corregir de manera acertada las incongruencias evidenciadas en el modelo digital de terreno.

Figura 8.10. Superficie TIN ajustada.



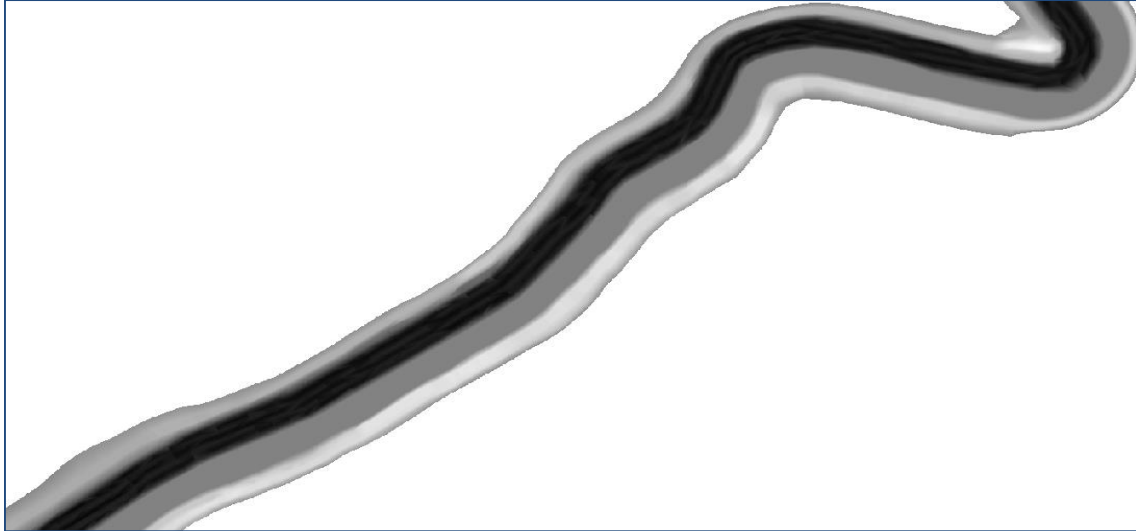
Fuente: Proyecto POT

8.4.1.5 Modelo Digital de Terreno Final (ASCCI)

Una vez corregido el modelo de elevación digital, mediante varios procesos iterativos, se obtiene la superficie digital del terreno que será utilizada para el desarrollo de los modelos hidrodinámicos de cada cauce.

Cada superficie tipo TIN ajustada es convertida en formato RASTER, con el fin de poder fusionar la información batimétrica de los cauces con la información topográfica contenida en el DEM de 1x1 de la ciudad de Bogotá y finalmente obtener el archivo en formato ASCII (American Standard Code for Information Interchange), que será implementado y cargado al programa de modelación hidráulica (Ver Figura 8.11).

Figura 8.11. Superficie en formato RASTER.



Fuente: Proyecto POT

9 GEOMORFOLOGÍA

Teniendo en cuenta que para los Estudios Básicos de Movimientos en Masa se elaboró la geomorfología de la ciudad donde se llevó a cabo la identificación de las diferentes subunidades geomorfológicas asociadas a los paisajes aluviales, con especial énfasis en las geoformas correspondientes a la llanura de inundación, se presenta en el Anexo 5. Geomorfología, el mapa geomorfológico a escala 1:5000 de la zona urbana y de expansión del Distrito Capital. En el Documento Técnico de Soporte del Mapa de Amenaza por Movimientos en Masa para la Zona Urbana y de Expansión se presenta la descripción de las subunidades cartografiadas.

10 ANÁLISIS HIDROLÓGICO

La aplicación de análisis complejos que involucran variaciones temporales y/o espaciales de precipitación, abstracciones hidrológicas y escurrimiento, encierran un gran número de cálculos y por ello la necesidad de realizarse con una computadora digital. Dichos análisis se basan principalmente en el estudio y modelación de cuencas hidrológicas.

De esta forma, se puede definir un modelo de cuenca, como un grupo de abstracciones matemáticas que describen fases relevantes del ciclo hidrológico, con el objetivo de simular la conversión de la precipitación en escurrimiento.

10.1 TIPOS DE MODELO

Existen dos categorías generales en los que pueden ser agrupados los diferentes modelos hidrológicos, una primera denominada como modelos de material, que consisten en una representación física de algún prototipo de cuenca. Un ejemplo de este tipo de modelo material puede ser una cuenca experimental o los simuladores de lluvia. Adicionalmente este tipo de modelos incluyen costos elevados y son de aplicabilidad limitada.

Por otra parte, un modelo formal es una abstracción matemática de una situación idealizada que preserva las propiedades estructurales de la cuenca, razón por la cual también se denominan modelos matemáticos, que funcionan con la ayuda de una computadora, por lo que también se denominan modelos computacionales.

Como ventaja de los modelos computacionales, se resalta su rápida disponibilidad, son altamente flexibles y relativamente económicos, convirtiéndolos en la herramienta preferida para la solución de problemas del modelado de cuencas hidrológicas.

10.1.1 Tipos de modelos matemáticos de cuencas

En la práctica de modelado de cuencas, se pueden identificar cuatro tipos generales de modelos matemáticos tales como, los modelos determinísticos, probabilísticos, paramétricos y conceptuales.

Un modelo determinístico es formulado en términos de un grupo de variables, parámetros y ecuaciones relacionadas a ellos.

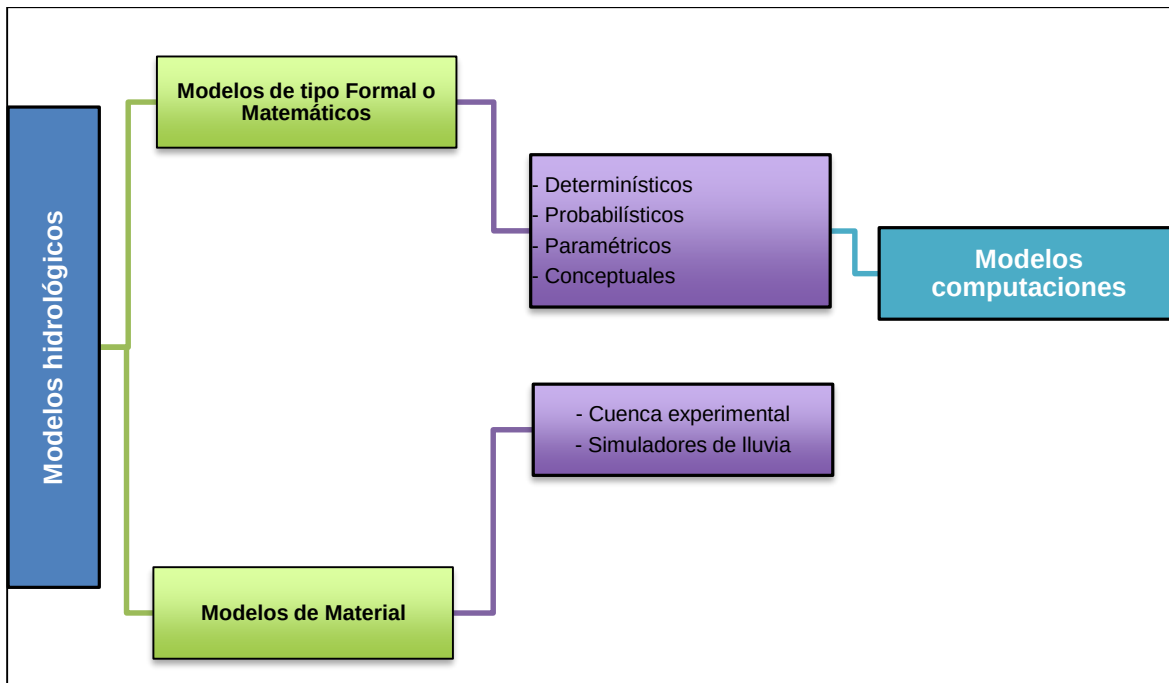
Por otro lado, los modelos probabilísticos son exactamente opuestos en significado a los modelos determinísticos, dado que éstos se formulan bajo parámetros de probabilidad. Pueden ser de dos tipos, estadísticos, que tratan con ejemplos observados y estocásticos que se apoyan con la estructura del azar observada en ciertas series hidrológicas temporales como, por ejemplo, flujos diarios de corriente en cuencas de tamaño medio.

Un tercer tipo de modelo matemático son los conceptuales, que se basan en representaciones simplificadas de los procesos físicos, simulando procesos complejos. Debido al uso extensivo de los modelos conceptuales en la hidrológica, se refleja la complejidad inherente de los fenómenos hidrológicos, lo que limita en la práctica utilizar modelos determinísticos.

Finalmente, el énfasis de los modelos paramétricos está en simplicidad de los parámetros empíricos planteados para la solución del problema. En general, un modelo paramétrico consiste en una ecuación o ecuaciones algebraicas, que contiene uno o más parámetros a ser determinados por el análisis de datos u otro medio empírico. La aplicabilidad de los

modelos paramétricos está restringida al rango de datos utilizados en la determinación de los valores de los parámetros.

Figura 10.1. Modelos hidrológicos



Fuente: Proyecto POT

10.1.2 Principales modelos computaciones o programas, utilizados para modelaciones hidrológicas

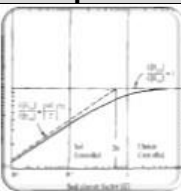
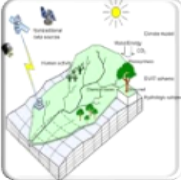
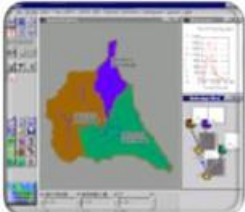
La construcción de un modelo de cuenca comienza con la selección de los componentes del modelo. Una vez que éstos han sido elegidos, se unen como partes del todo del modelo, siguiendo una secuencia lógica que recuerda a la del proceso natural. La lluvia y la nieve son consideradas primero, seguidas por las abstracciones hidrológicas, la generación del hidrograma de la subcuenca, reservorio y ruteo de la corriente en el canal, y combinación hidrográfica en las confluencias de la red.

La resolución de la salida del modelo debe ser solicitada al inicio de la construcción y aplicación del modelo. La resolución se refiere a la capacidad del modelo de representar con seguridad ciertas escalas de problemas. La resolución está relacionada a la escala de la cuenca y el objetivo del modelado. La modelación del escurrimiento de cuencas pequeñas requiere una resolución clara, con pasos de tiempo típicos en el orden de los

Página 159 de 306

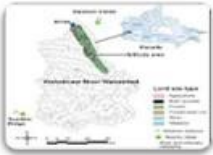
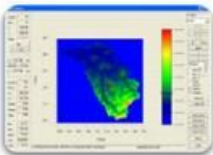
minutos y correspondiente a subcuencas pequeñas y tramos cortos de canal. Por el otro lado, la modelación del escurrimiento de cuencas de tamaño medio requiere una resolución promedio, con pasos de tiempo típicos en el orden de horas y correspondientes a subcuencas mayores y tramos de canal más largos. Más aún, la modelación del escurrimiento de cuencas grandes (esto es, cuencas de ríos) puede requerir una resolución amplia, con pasos de tiempo del orden de uno o más días y tamaño de subcuenca y longitudes de tramos del canal concordantes. Dentro de los principales programas computacionales para la modelación de cuencas, se resaltan los modelos descritos a continuación en la Tabla 10.1:

Tabla 10.1. Principales modelos hidrológicos

Modelo	Desarrollador y tipo de modelo	Esquema
Climate. Soil and Vegetation	Autor: Eagleson (1978) Modelo estocástico. Modelo de balance hídrico anual.	
U.S. Geological Survey (USGS) Model	Dawdy et al. (1970, 1978) Orientado a procesos. Procesos continuos. Modelación eventos lluvia escorrentia.	
Soil-Vegetation-Atmosphere Transfer (SVAT) Model	Ma et al (1999), Ma y Chens (1998) Macroescala. Modelación de caudales aguas abajo del río Storm	
Storm Management Water Model (SWMM)	Metcalf y Eddy et al (1971), Huber y Dickinson (1955), Huber (1005) Modelo semi distribuido. Modelos de flujo de tormenta continuo físicamente	
Hydrological Modeling System (HMS)	Yu (1996), Yu y Schwartz (1998), Yu et al (1999) Físicamente basado. Parámetros distribuidos. Modelo continuo de simulación hidrológica.	



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

Modelo	Desarrollador y tipo de modelo	Esquema
Phisically Based Runoff Production Model (TOPMODEL)	Beven y Kirby (1976-1979), Beven (1995) Físicamente basado. Distribuido. Modelo continuo de simulación hidrológica	
Soil Water Assesment Tool (SWAT)	Arnold et al (1998) Distribuido. Conceptual. Modelos de sumulacion continua	
Generalized River Modeling Package - Systeme Hydrologue 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), Ogden (1998) Físicamente Basado. Distribuido. Modelo de simulación de escorrentia.	

Fuente: Proyecto POT

10.2 REVISIÓN ESTADO ACTUAL INFORMACIÓN

Teniendo en cuenta que la revisión actual de la información hidrológica tiene como objetivo generar una actualización de la hidrología para el desarrollo de modelos hidrodinámicos en la ciudad de Bogotá como insumo para la actualización del mapa por inundación, fue necesario realizar una revisión de toda la bibliografía de las diferentes entidades con jurisdicción en la ciudad, donde se establecido que la mejor medida era partir de resultados obtenidos en años anteriores referentes a la hidrología de diseño en los cuerpos hídricos de interés.

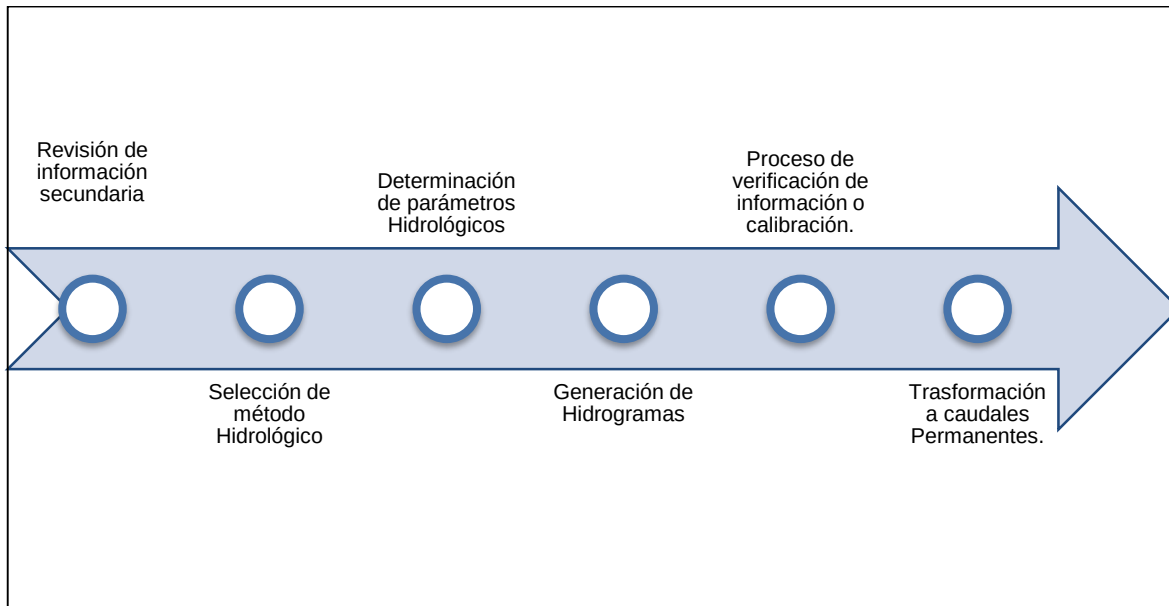
Se tuvo en cuenta estudios anteriores para la calibración y validación de modelos hidrológicos, teniendo en cuenta los estudios de tormentas del acueducto en el año 2015 para cada una de las estaciones pluviográficas ubicadas en las diferentes cuencas hidrográficas objeto de estudio, la metodología se basara en la actualización de la hidrológica cambiando parámetros de forma y manteniendo los volúmenes pertinentes para cada cuerpo hídrico.

Para la actualización de la hidrología, se han teniendo en cuenta diferentes estudios realizados en las últimas dos décadas en el Distrito Capital con el fin de suministrar un valor de entrada para las modelaciones hidrodinámicas; los estudios que se tuvieron en cuenta corresponden a diseños de obras para la adecuación hidráulica de cauces, diseño de embalses, datos de estaciones hidrológicas puntuales y planes de manejo ambiental. A continuación, se presenta un resumen de los diferentes estudios que cuentan con la temática de hidrología en los diferentes cuerpos de agua del Distrito Capital.

10.3 METODOLOGÍA DE ACTUALIZACIÓN MODELOS HIDROLÓGICOS

Es necesario mencionar que en el presente documento no busca contradecir los estudios realizados en las diferentes cuencas afluentes al río Bogotá en el sector del Distrito capital, a continuación, se presenta la metodología que describe el paso a paso en la elaboración de los diferentes caudales asociados a periodos de retorno para cada uno de los cuerpos hídricos (ver figura 9.2):

Figura 10.2 Esquema Metodológico modelo Hidrológico



Fuente: Proyecto POT

10.3.1 Revisión de información secundaria.

En esta fase de la metodología se ha procedido a consultar y revisar información técnica relacionada con los estudios de soporte referentes al área de hidrología, modelación hidrodinámica, estudios de amenaza y riesgo, cartografía básica y demás información pertinente que haya sido aprobada y elaborada por autoridades competentes, además

que correspondan al análisis de las áreas de interés, y que cumpla las condiciones técnicas y de detalle.

Una vez recopilada la información, se procedió a clasificar la información más pertinente relacionada con valores hidrológicos los cuales nos dieran una referencia del comportamiento de las áreas de estudio, a continuación, se relaciona los estudios seleccionados para cada cuerpo hídrico objeto de estudio (ver tabla 9.2).

Por otro lado, para el insumo de las modelaciones hidrológicas, se recopiló el estudio de análisis de tormenta desarrollado por la Empresa de Acueducto de Bogotá en el año 2015, dicho estudio cuenta con todo el análisis Pluviográfico en la ciudad de Bogotá y proporciona curvas Intensidad Duración frecuencia. Adicional a esto uno de los grandes insumos fue el modelo de elevación Digital que cuenta con una resolución de 1x1 y cuya área abarca el casco urbano de la ciudad de Bogotá.

Tabla 10.2. Revisión de información secundaria según Cuerpo Hídrico.

Cuenca	Estudio	Año	Consultor
Rio Tunjuelo	Modelación Hidráulica para las cuencas de los Ríos Tunjuelo y Fucha en las condiciones Actuales. Producto Rio Tunjuelo	2009	I.H.T LTDA
Rio Fucha	Modelación Hidráulica para las cuencas de los Ríos Tunjuelo y Fucha en las condiciones Actuales. Producto Rio Fucha	2009	I.H.T LTDA
Rio Salitre	Modelo Sewer Gems - Canal Salitre	2015	EAB
Rio Bogotá	Proyecto de Adecuación Hidráulica y Recuperación Ambiental del Rio Bogotá.	2011	HMV INGENIEROS LTDA
Canales (Córdoba, Jaboque, Cundinamarca, Torca)	Modelación Hidrodinámica del Humedal Córdoba, PMA de los humedales Torca y Guaymara, Modelo Hidráulico/ Hidrodinámico para el humedal Jaboque.	2007/2008/2000	EAAB

Fuente: Proyecto POT

10.3.2 Selección de modelo Hidrológico

El componente hidrológico en este proyecto surge ante la necesidad de encontrar los caudales adecuados a los modelos hidrodinámicos en los diferentes cuerpos hídricos,

teniendo en cuenta esto ante una primera aproximación se decidió contar con Hidrogramas (caudal vs tiempo).

Partiendo de la información recopilada referente al estudio de tormentas de la ciudad de Bogotá el método que mejor se ajustaba al objeto de modelación, corresponde a una metodología la cual evalué un evento determinado contando con un parámetro de transformación por cobertura y uso del suelo, y cuya salida representé un determinado caudal en el tiempo asociado a un periodo de retorno o probabilidad.

La metodología que más se ajustó a los requerimientos técnicos corresponde al método del *Soil Conservation Service* para eventos extremos. A continuación, se presentan los fundamentos matemáticos de este procedimiento.

10.3.2.1 Modelo del Soil Conservation Service (SCS)

Este método fue desarrollado luego de llevar experimentos en más de dos mil quinientas pequeñas cuencas de los Estados Unidos. El modelo deriva su nombre de una serie de curvas, identificadas por un número N, que varían en un rango de 1 a 100, donde el N = 1, define a una escorrentía en una cuenca donde toda la lluvia se infiltra y nada escurre, mientras que un N = 100, corresponde, por el contrario, a una situación hidrológica en una cuenca donde toda la lluvia escurre forma un caudal. (Beven, 2004)

Es de anotar que el método del Número Curva – SCS, es empírico, deducido para generar un gasto o escorrentía correspondiente a un tiempo de concentración de hasta 24 horas, ya que el método del SOIL para la estimación de la escorrentía máxima Q, no tiene limitaciones de tiempo, pero en el modelo desarrollado en el Himat, se establece un límite de un día. (Beven, 2004)

La ecuación principal del método se resume a continuación:

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S}$$

Donde:

- Q:** Escorrentía Total Acumulada y dada para un evento diario
- P:** Precipitación Total del evento diario
- S:** Infiltración Potencial Máxima

El valor de S para una determinada condición hidrológica de la cuenca puede ser obtenido mediante el análisis de Hidrogramas de cuencas homogéneas.

$$S = \frac{(P_e)^2}{Q} - P_e$$

Donde:

Pe: Escorrentía Potencial o Exceso de Precipitación
Pe – Q : Infiltración Real Acumulada

Por lo tanto, el método se basa en la relación:

$$\frac{F}{S} = \frac{Q}{P_e}$$

Donde,:

F: Infiltración Potencial Acumulada
Pe: Escorrentía Potencial o Exceso de Precipitación
Q: Escorrentía Total Acumulada

Esta ecuación se considera válida a partir del inicio de la escorrentía, donde P_e se define como:

$$P_e = P - I_a$$

El término I_a , son las sustracciones iniciales y definido como la precipitación acumulada hasta el inicio de la escorrentía y es función de la interceptación, almacenamiento en depresiones e infiltración antes del comienzo de la escorrentía.

El Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos, después de estudiar un gran número de pequeñas cuencas confeccionó un cuadro para estimar S a partir de un cierto valor de un Número de Curva "CN ". El valor de S está dado y relacionado con CN, mediante la siguiente ecuación, siempre y cuando la precipitación está dada en mm y la escorrentía que se genere, se exprese igualmente en mm:

$$S = \frac{2540}{CN} - 25.4$$

En la siguiente figura, se muestra la representación gráfica de las curvas "CN" en función de la relación existente entre la precipitación y la escorrentía generada. De igual forma, la escorrentía se obtiene a partir de ciertas condiciones hidrológicas, como el tipo de cobertura vegetal, la práctica agrícola, la condición hidrológica y el tipo de suelo hidrológico.

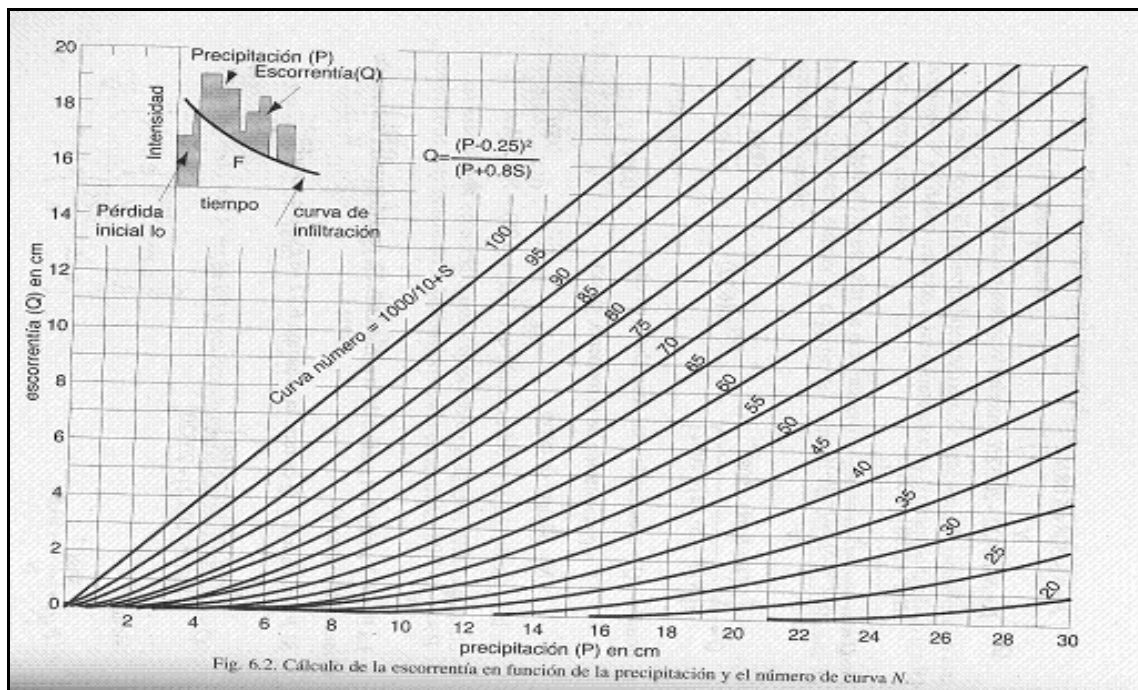


ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.

AMBIENTE
Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático

El número de curva CN se define como un parámetro el cual tiene en cuenta la condición de humedad, determinada a partir de la precipitación antecedente en un periodo de tiempo, se representa mediante un numero adimensional que se determina a partir de curvas estandarizadas (Figura 2), las cuales varían entre 0 a 100, donde un valor de cero se refiere a una total infiltración y un valor de 100 a total escurrimiento superficial de toda la precipitación de entrada.

Figura 10.3 Numero de curva



Fuente: Beven, 2004

El modelo fue desarrollado para una condición de humedad antecedente promedio y para una relación $I_a = 0.2 S$, donde I_a son las sustracciones iniciales y definido como la precipitación acumulada hasta el inicio de la escorrentía y es una función de la interceptación, almacenamiento en depresiones e infiltración antes del comienzo de la escorrentía.

10.3.3 Determinación de parámetros Hidrológicos

Para el desarrollo del modelo del SCS es de interés determinar ciertos parámetros hidrológicos y Morfométricos en cada uno de los puntos de interés y específicamente en cada una de las áreas aferentes o cuencas hidrográficas, los parámetros que se calcularan se presentan a continuación con su respectivo procedimiento.

- Área
- Tiempo de concentración

- Numero de curva

El desarrollo de este procedimiento se realizó en cada una de las cuencas hidrográficas y puntos de entrada a los modelos hidrodinámicos los cuales fueron priorizados por el equipo de trabajo en la temática de inundaciones.

A continuación, se relacionan los resultados de las subcuencas hidrográficas generadas y los parámetros Morfométricos.

10.3.3.1 Rio Tunjuelo

La cuenca del rio Tunjuelo cuya área total abarca 415 km² aproximadamente y la cual ha sido la más intervenida en todo el trascurso de su cauce, para efectos de la modelación hidrológica fueron seleccionados 13 puntos, en los que se destacan el sector de cantarrana que en la actualidad se encuentra influenciada por un embalse, la quebrada Yomasa, Yerbabuena y Chiguaza, las más representativas y con una mayor área de drenaje (ver tabla 9.3).

Tabla 10.3 Tabla parámetros Modelo Rio Tunjuelo

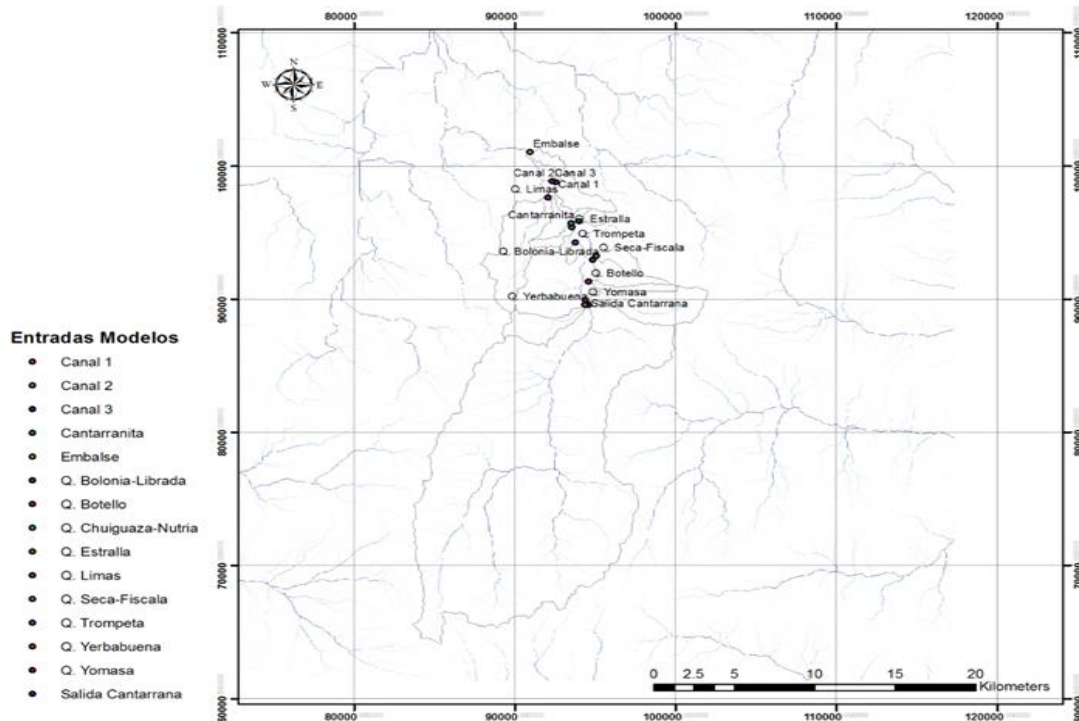
Entrada	Área Km ²	Tiempo de concentración (Min)	Numero de curva
Cantarrana	235	250	67
Q Yomasa	14.12	30.84	56
Q Botello	9.07	29.82	59
Q Yerbabuena	7.38	53.15	70
Q trompeta	5.62	32.58	78
Q Bolonia	4.66	34.8	59
Q Estrella	3.02	27.48	88
Q Fiscala	3	45.36	58
Q limas	17.49	106.4	72.5
Q Chiguaza	16.68	35	68
Canal 3	3.53	23.45	69
Canal 1	2.79	53.78	73
Embalse	1.9	40	70

Fuente: Proyecto POT



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

Figura 10.4 Esquema entradas Rio Tunjuelo



Fuente: Proyecto POT

10.3.3.2 Rio Fucha

La cuenca del rio Fucha la cual podría considerarse la segunda más grande en el territorio de la ciudad de Bogotá ubicada en el suroccidente de la capital, fueron seleccionadas 5 entradas en las que se destaca el canal comuneros y canal san francisco.

Tabla 10.4 Esquema entradas Modelo Rio Fucha

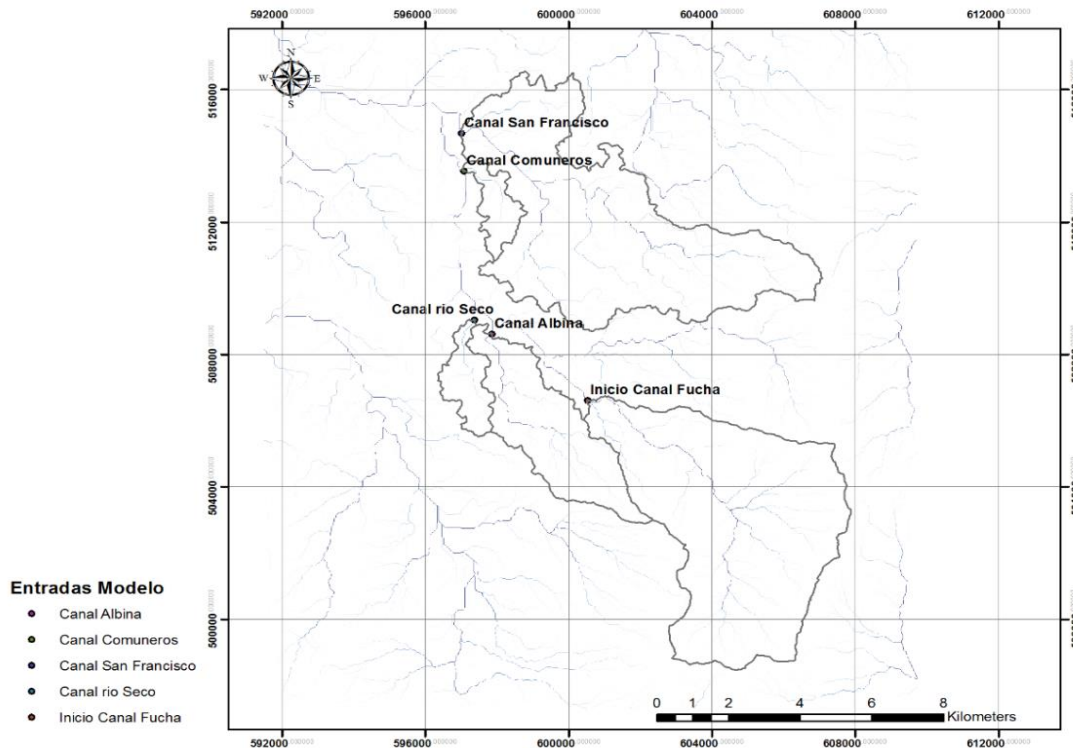
Entrada	Área Km ²	Tiempo de Concentración (Min)	Numero de curva
Entrada	35.27	340	88
Albina	11.14	150	76.2
Seco	2.94	184.5	75.2
San Francisco	35.04	260	68
Comuneros	2.32	100	96

Fuente: Proyecto POT



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

Figura 10.5. Esquema entradas Rio Fucha



Fuente: Proyecto POT

10.3.3.3 Rio Salitre

La cuenca del rio salitre se encuentra ubicada en el noroccidente de la ciudad, para efectos de la modelación hidrológica se determinaron 6 puntos, en los cuales se destacan, canal castellana, humedal juan amarillo y canal Rio Negro.

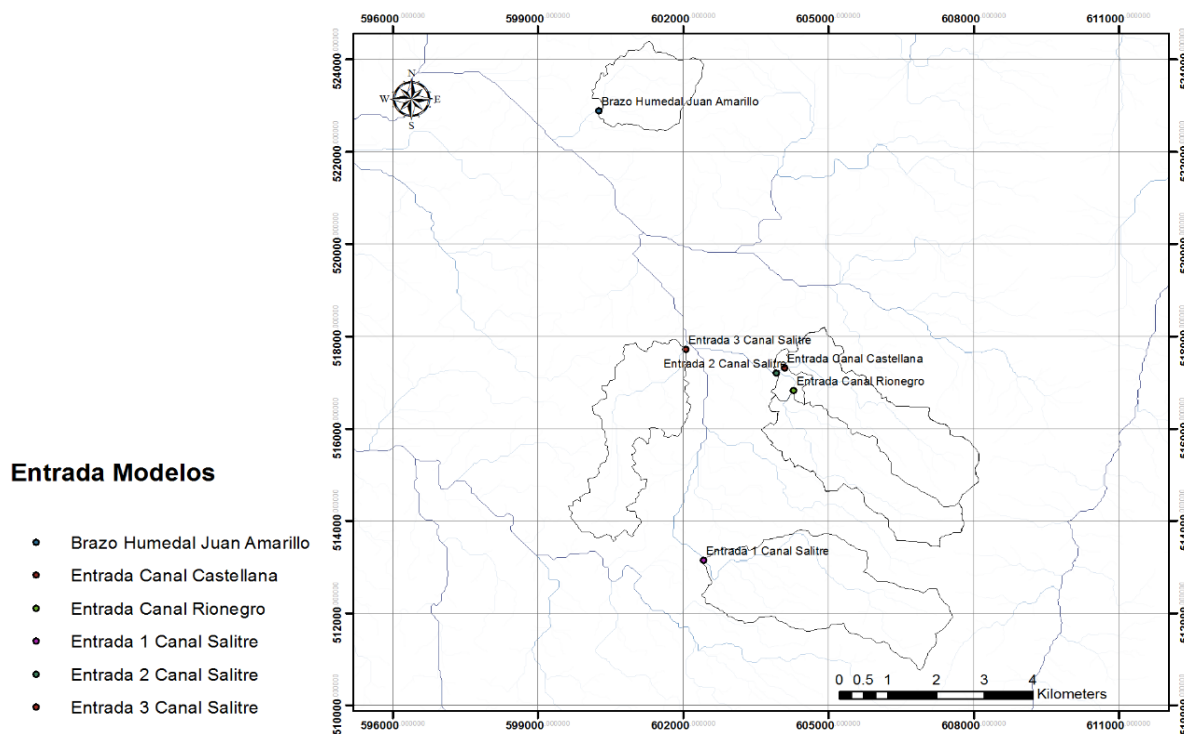
Tabla 10.5. Tabla parámetros Modelo Rio Salitre.

Entrada	Área km2	Tiempo de Concentración (Min)	Numero de Curva
Entrada 2	10.84	39.98	65
Entrada_1	8.07	53.25	80
Canal Castellana	5.39	25.99	63.5
Entrada 3	5.22	36.37	70
Canal Rio negro	4.97	23.87	59
Juan Amarillo	2.95	17.51	60

Fuente: Proyecto POT

Página 169 de 306

Figura 10.6. Esquema entradas Modelo Rio Fucha



Fuente: Proyecto POT

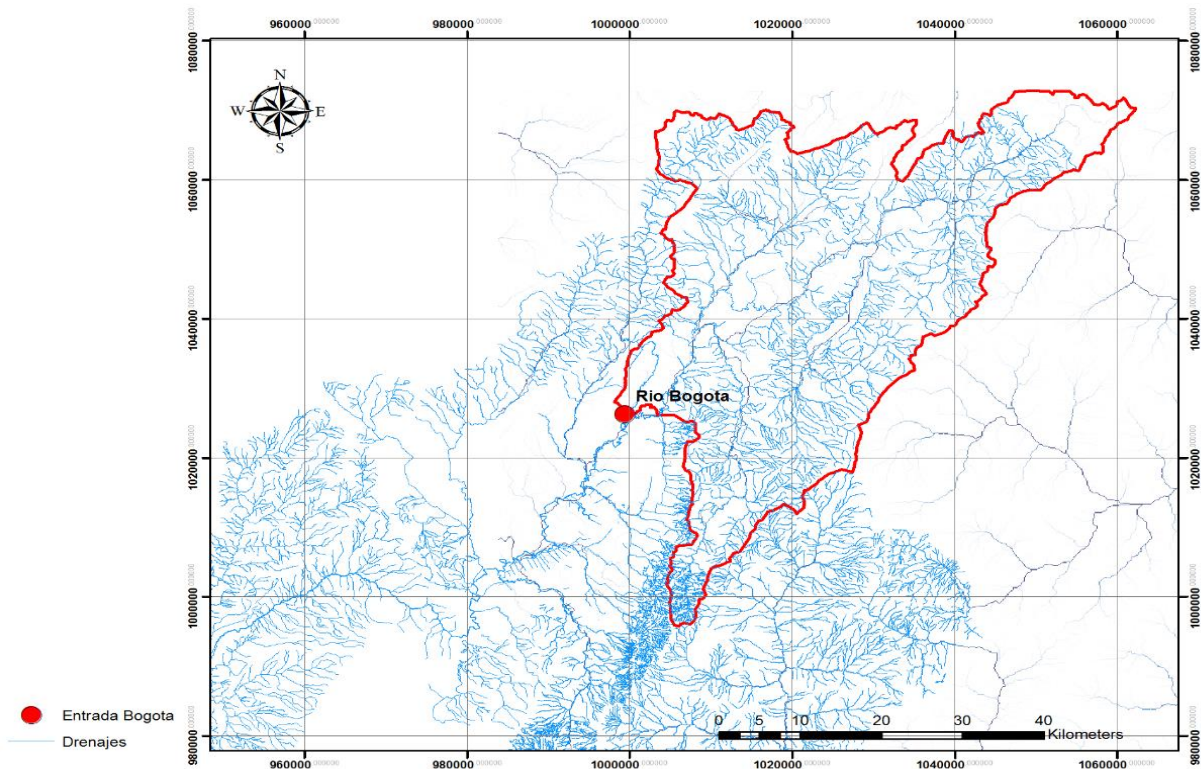
10.3.3.4 Rio Bogotá

El cauce principal del Rio Bogotá como principal objeto de estudio en este proyecto tiene como entrada principal el punto de afluencia entre la cuenca alta y el canal Torca, algunos kilómetros aguas arriba de la estación Puente la Virgen.



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

Figura 10.7 Esquema entradas Rio Bogotá



Fuente: Proyecto POT

10.3.4 Tormentas de diseño Empresa de Acueducto de Bogotá

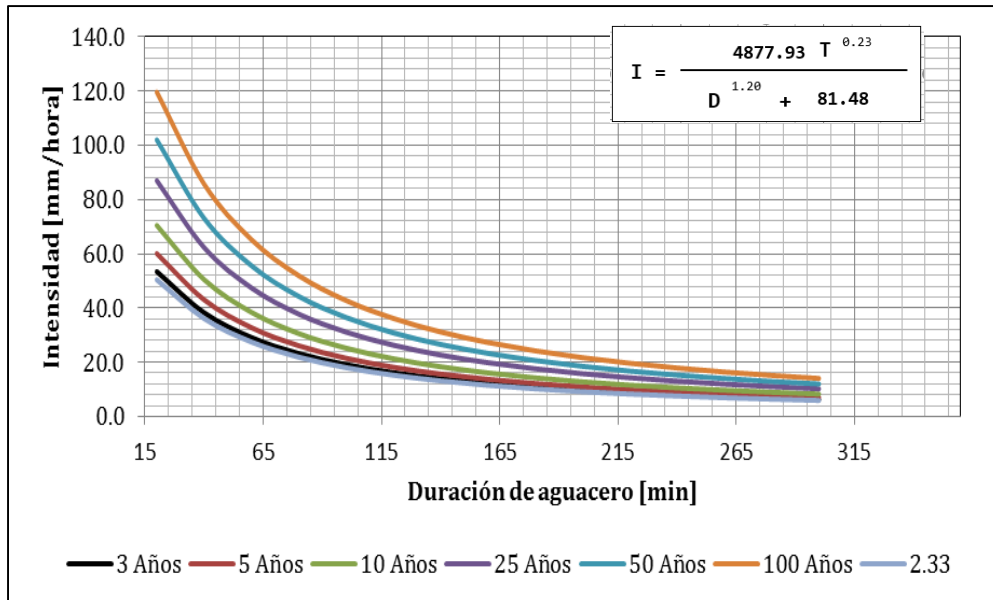
Como entrada en el modelo hidrológico y en el procedimiento para la determinación de Hidrogramas fue necesario tener en cuenta el estudio de tormentas del acueducto de Bogotá para las diferentes estaciones pluviográficas, en la mayoría de los casos se asignaron las estaciones en función del área de influencia de cada subcuenca.

El análisis pluviográfico en la ciudad de la Bogotá, se extiende a más de 69 estaciones en toda la capital, en la figura anterior se presenta solo las estaciones pluviográficas las cuales fueron empleadas en cada una de las cuencas estudiadas, el estudio proporciona los parámetros para las ecuaciones de intensidad en función de la duración y el periodo de retorno seleccionado, a continuación se presentan las curvas Intensidad – Duración – Frecuencia empleadas en cada uno de los análisis hidrológicos para las diferentes cuencas seleccionadas.

A continuación, se presenta las curva Intensidad – Duración – Frecuencia empleada para el análisis de cada una de las cuencas estudiadas.

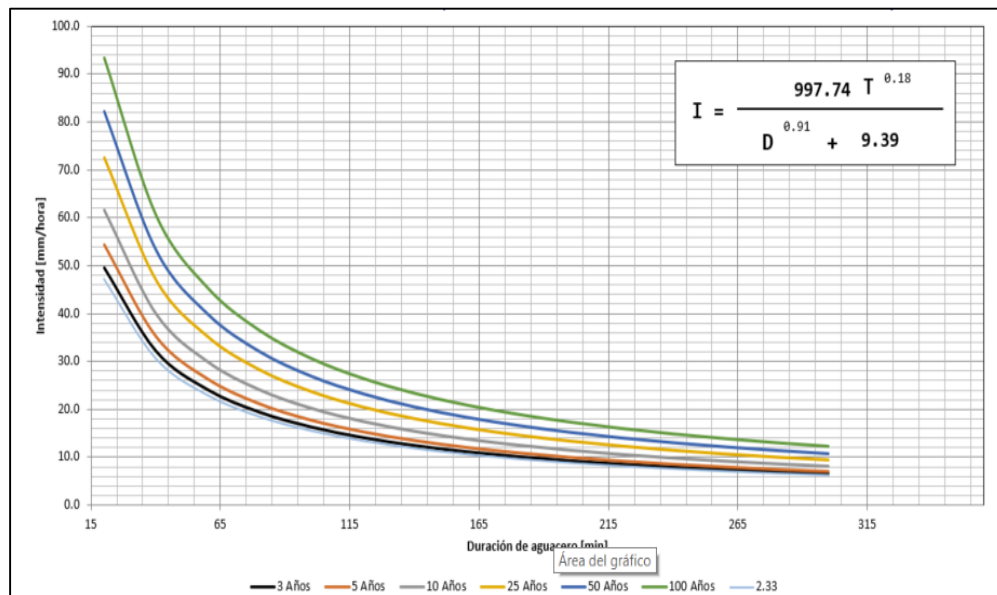
Página 171 de 306

Figura 10.9 Curva Intensidad – Duración – Frecuencia Estación Juan Rey.



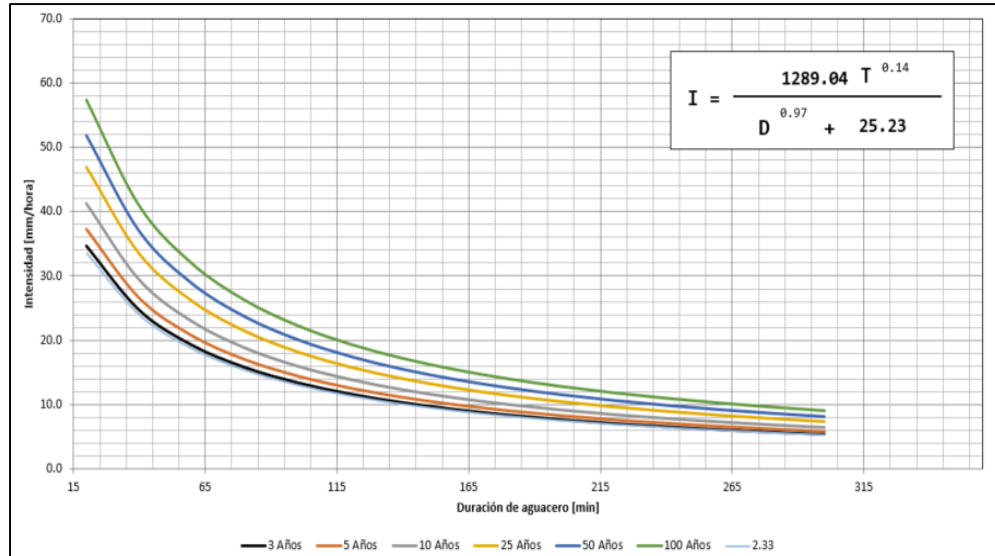
Fuente: EAB, 2015

Figura 10.10 Curva Intensidad – Duración – Frecuencia Estación Santa Lucia.



Fuente: EAB, 2015

Figura 10.11 Curva Intensidad – Duración – Frecuencia Estación Quiba.

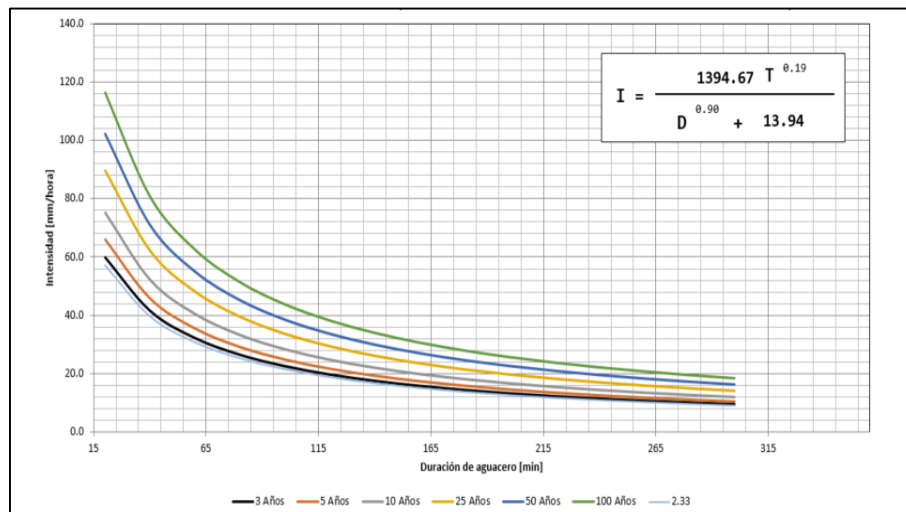


Fuente: EAB, 2015

10.3.4.2 Rio Fucha

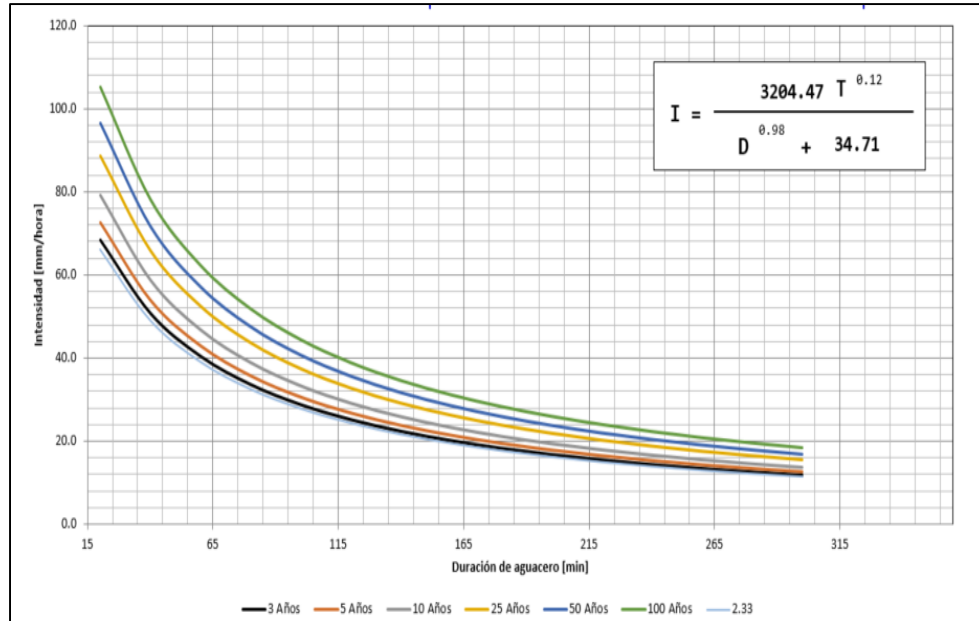
Para el análisis de tormentas en la cuenca del rio Fucha se emplearon tres estaciones pluviográficas y sus respectivas curvas Intensidad – Duración – Frecuencia, las curvas seleccionadas se presentan a continuación.

Figura 10.12 Curva Intensidad – Duración – Frecuencia Estación El Delirio.



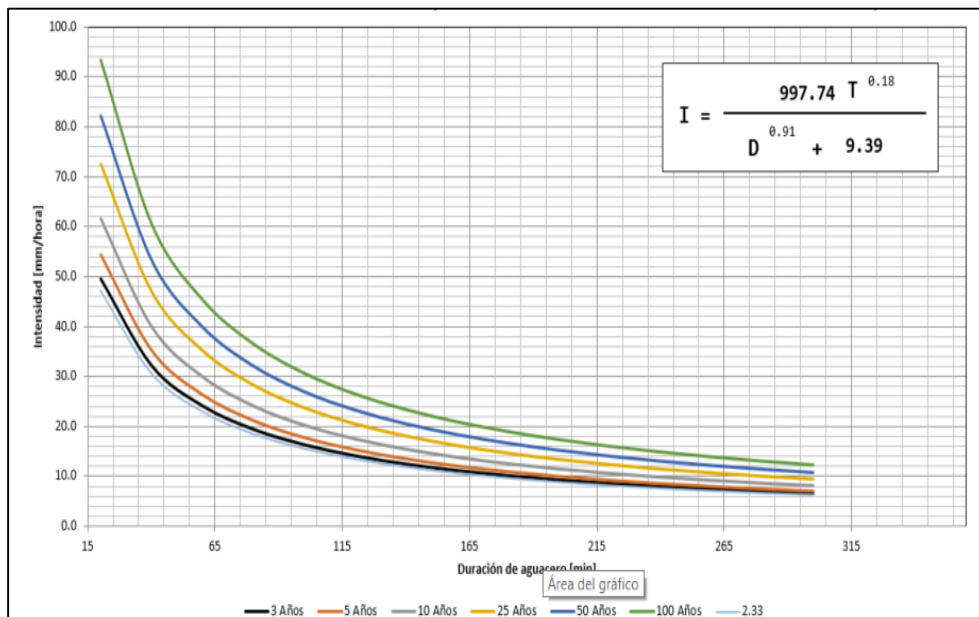
Fuente: EAB, 2015

Figura 10.13 Curva Intensidad – Duración – Frecuencia Estación El Granizo.



Fuente: EAB, 2015

Figura 10.14 Curva Intensidad – Duración – Frecuencia Estación Santa Lucía.

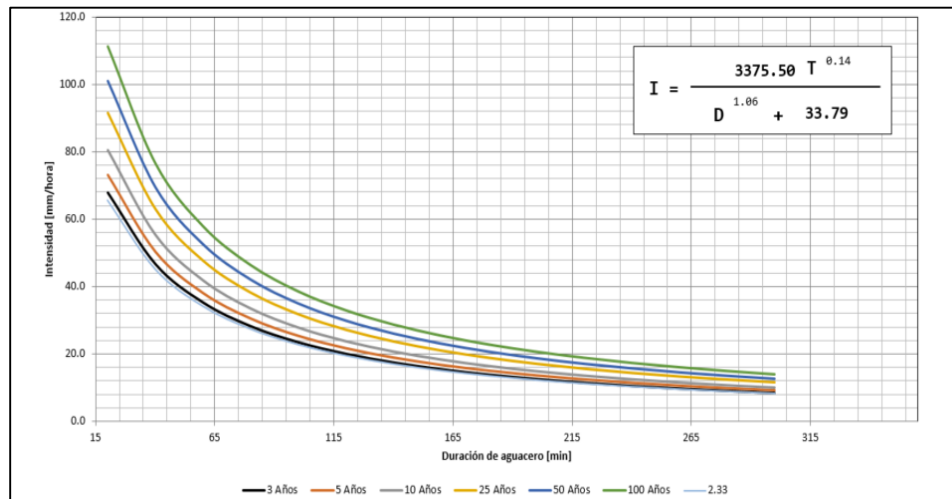


Fuente: EAB, 2015

10.3.4.3 Rio Salitre

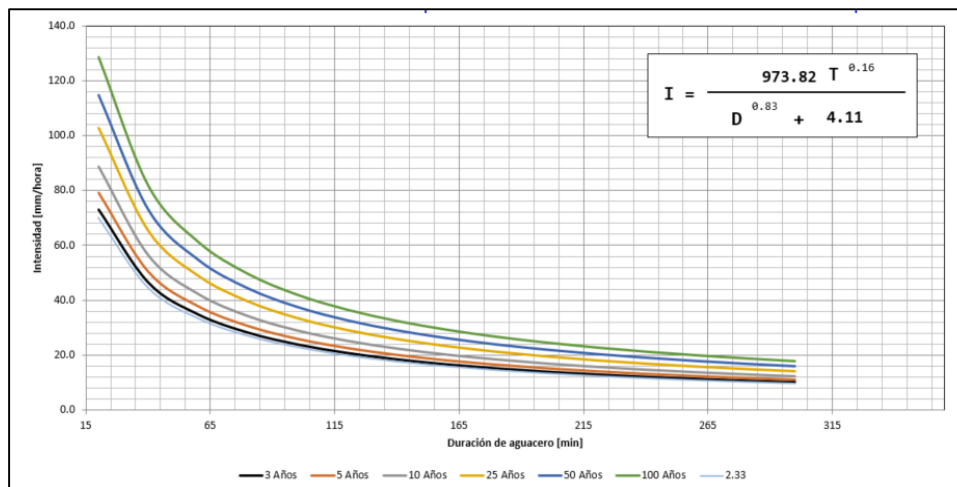
Para el análisis de tormentas en la cuenca del rio Salitre se emplearon tres estaciones pluviográficas y sus respectivas curvas Intensidad – Duración – Frecuencia, las curvas seleccionadas se presentan a continuación.

Figura 10.15 Curva Intensidad – Duración – Frecuencia Estación Cerros de suba.



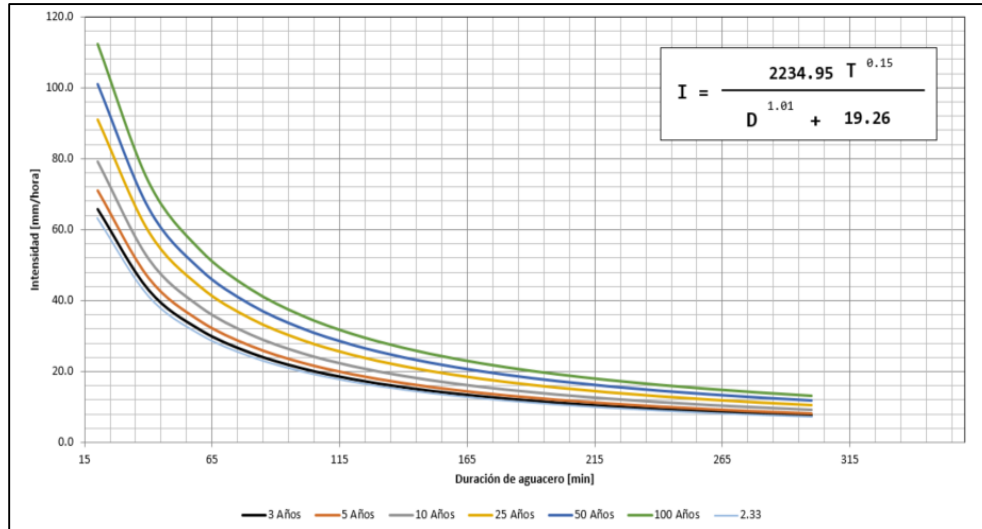
Fuente: EAB, 2015

Figura 10.16 Curva Intensidad – Duración – Frecuencia Estación San Luis.



Fuente: EAB, 2015

Figura 10.17 Curva Intensidad – Duración – Frecuencia Estación Salitre Casa de Bombas.

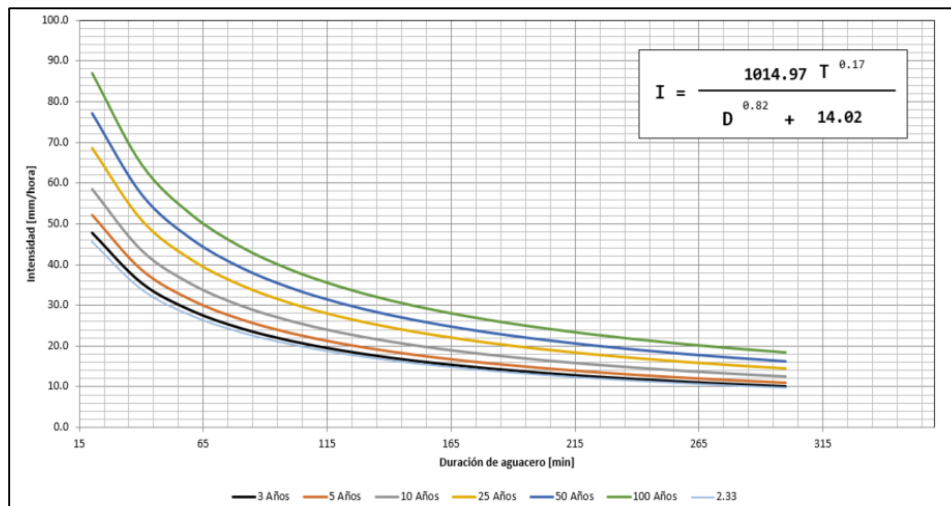


Fuente: EAB, 2015

10.3.4.4 Rio Bogotá

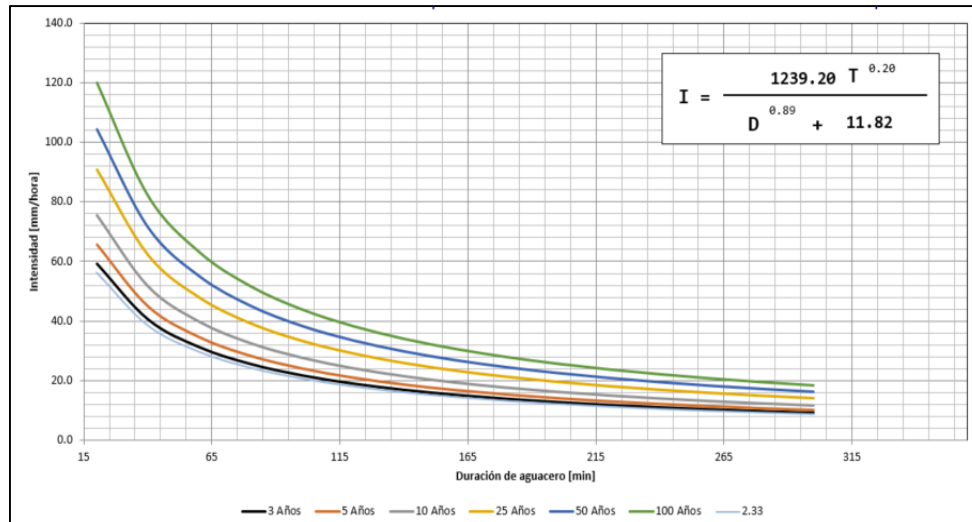
En la cuenca que comprende el rio Bogotá, debido a su extensión, fue necesario emplear 5 estaciones pluviográficas además de incluir en el modelo hidrológico una ponderación por área de influencia. A continuación, se presentan las IDF empleadas en el modelo hidrológico Bogotá.

Figura 10.18 Curva Intensidad – Duración – Frecuencia Estación El Verjon.



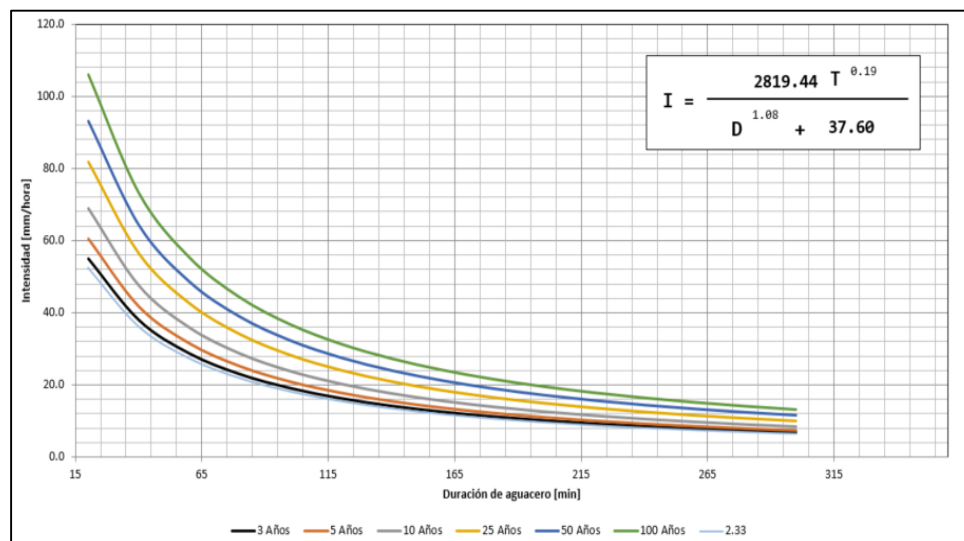
Fuente: EAB, 2015

Figura 10.19 Curva Intensidad – Duración – Frecuencia Estación Serrezuela.



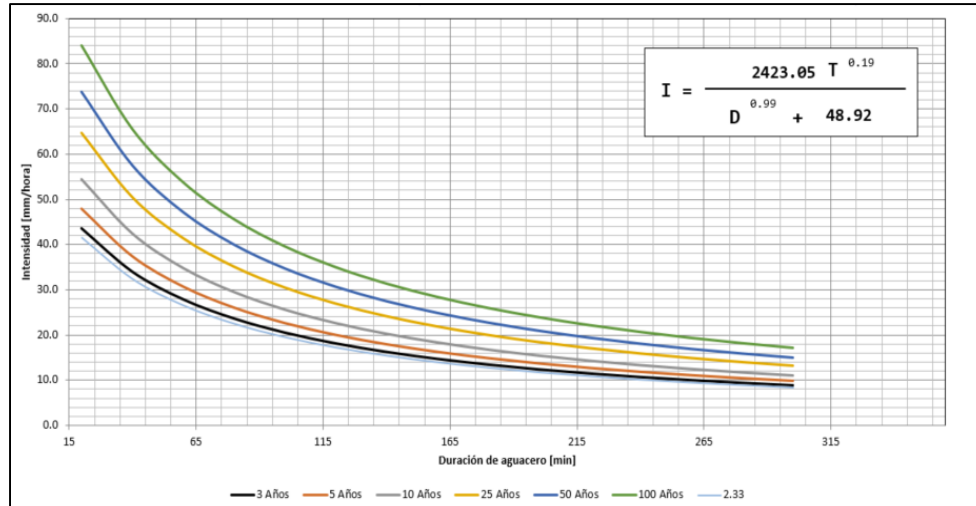
Fuente: EAB, 2015

Figura 10.20 Curva Intensidad – Duración – Frecuencia Estación La Caro.



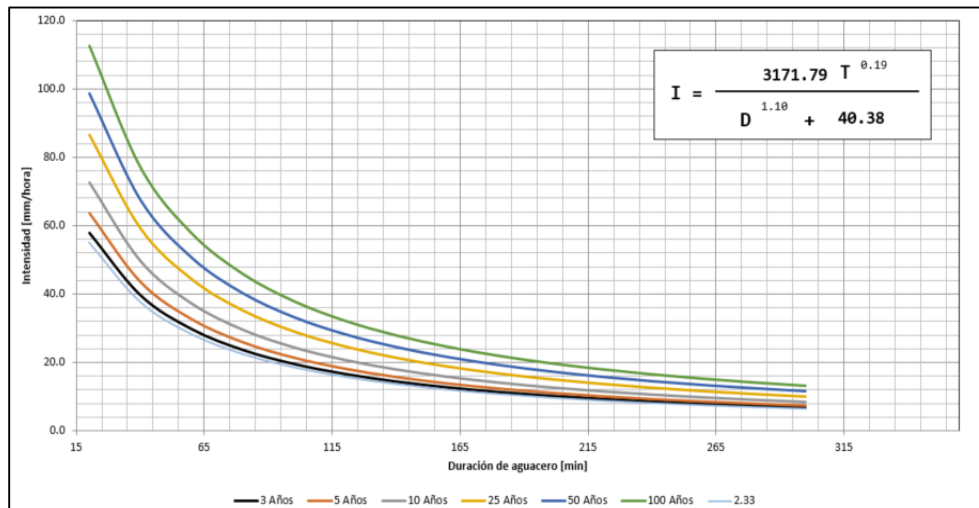
Fuente: EAB, 2015

Figura 10.21 Curva Intensidad – Duración – Frecuencia Estación Tibitoc.



Fuente: EAB, 2015

Figura 10.22 Curva Intensidad – Duración – Frecuencia Estación Planta Wiesner.



Fuente: EAB, 2015

10.3.5 Generación de Hidrogramas

Teniendo en cuenta los datos obtenidos en los procedimientos relacionados con parámetros morfométricos e intensidades asociadas a diferentes periodos de retorno, se establece el esquema conceptual del modelo hidrológico en HEC-HMS para cada uno de los cuerpos hídricos presentes en el área de estudio. Los modelos hidrológicos se realizaron para los periodos de retorno 10, 50, 100, 500. Los Hidrogramas generados tienen un tiempo de

Página 179 de 306

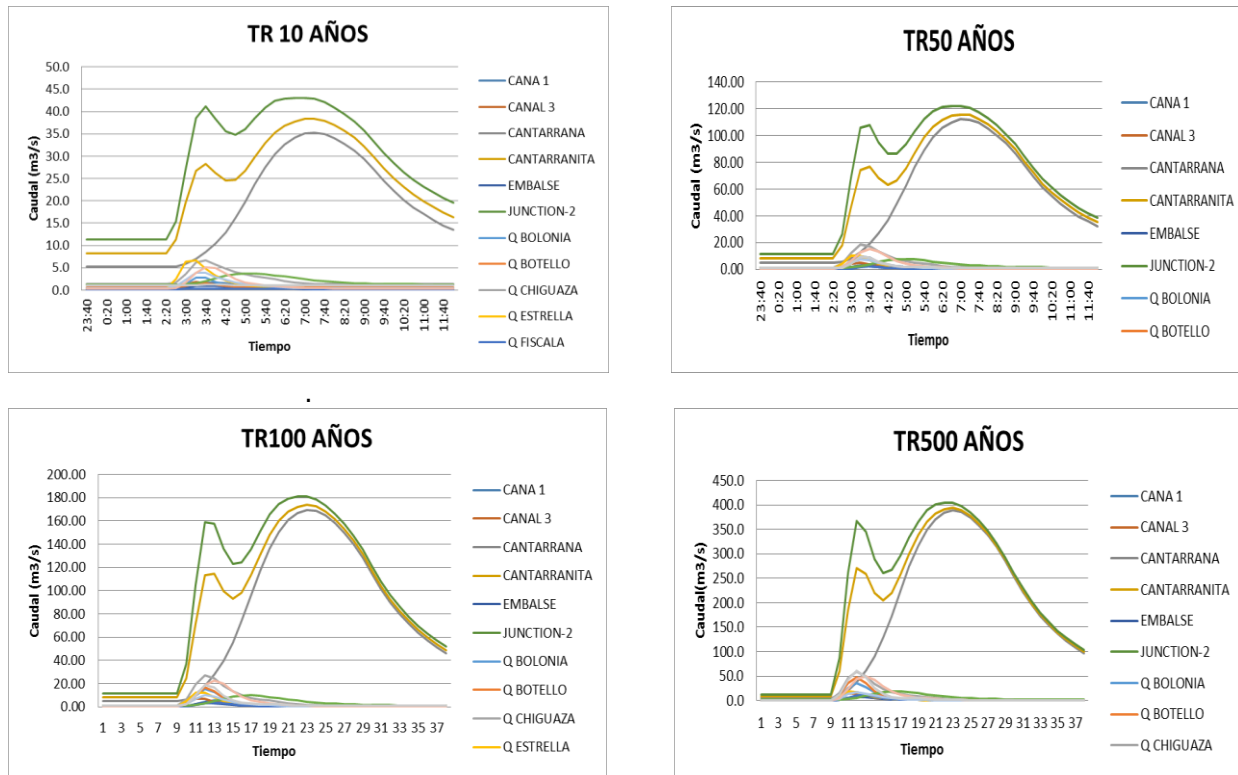
duración de 12 horas el doble del promedio de las tormentas con las cuales se establecieron las entradas al modelo.

10.3.5.1 Río Tunjuelo

En la cuenca del río Tunjuelo se establecen Hidrogramas para las diferentes entradas al modelo hidrodinámico, para el parámetro de pérdida en las diferentes cuencas, se tuvo en cuenta la información recolectada de los estudios realizados por I.H.T LTDA en el Río Tunjuelo. Cabe resaltar que los caudales del punto cantarrana están simulados sin tener en cuenta las estructuras de regulación ejecutadas por la Empresa de Acueducto de Bogotá

A continuación, se presenta una primera aproximación de los Hidrogramas para diferente periodo de retorno sin tener en cuenta la calibración.

Figura 10.23 Hidrogramas de Crecientes Río Tunjuelo

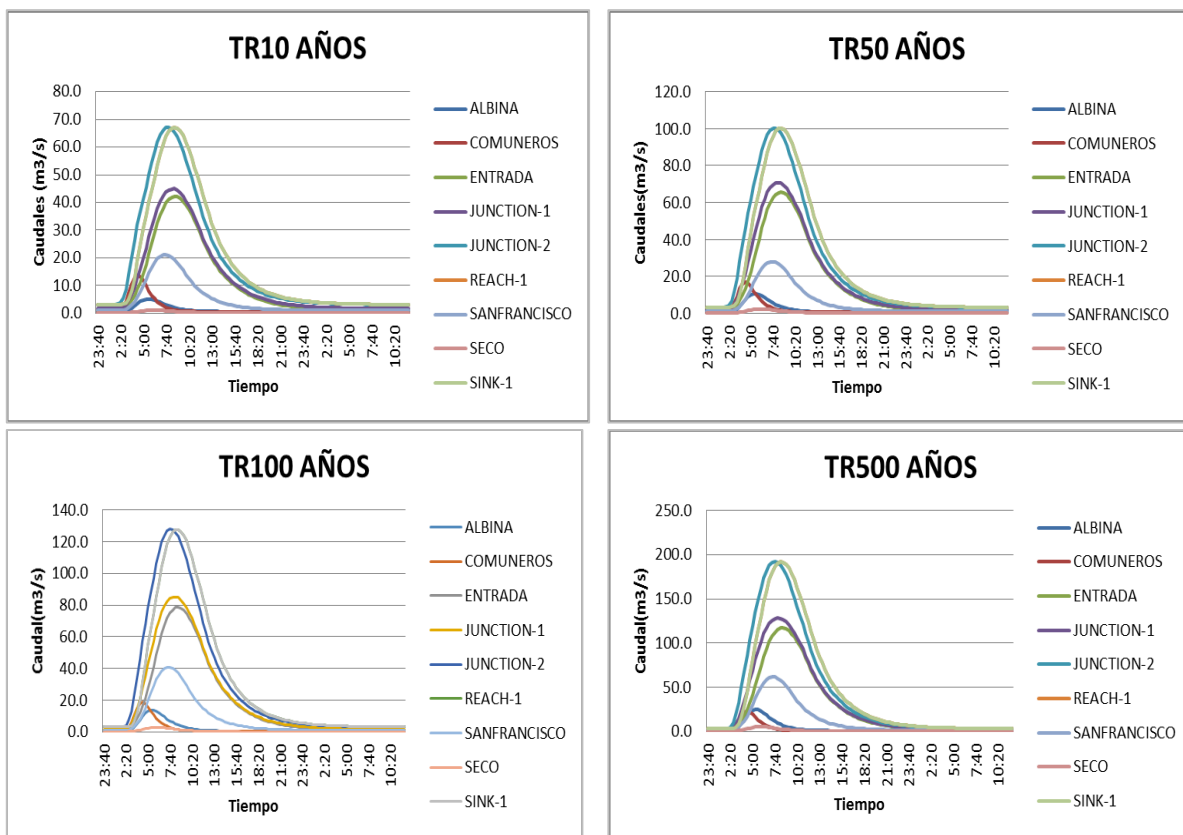


Fuente: Proyecto POT

10.3.5.2 Rio Fucha

En la cuenca del rio Fucha se establecen Hidrogramas para las diferentes entradas al modelo hidrodinámico, para el parámetro de perdida en las diferentes cuencas, se tuvo en cuenta la información recolectada de los estudios realizados por I.H.T LTDA en el Rio Fucha. A continuación, se presenta una primera aproximación de los Hidrogramas para diferente periodo de retorno sin tener en cuenta la calibración mediante

Figura 10.24. Hidrogramas de Crecientes Rio Fucha



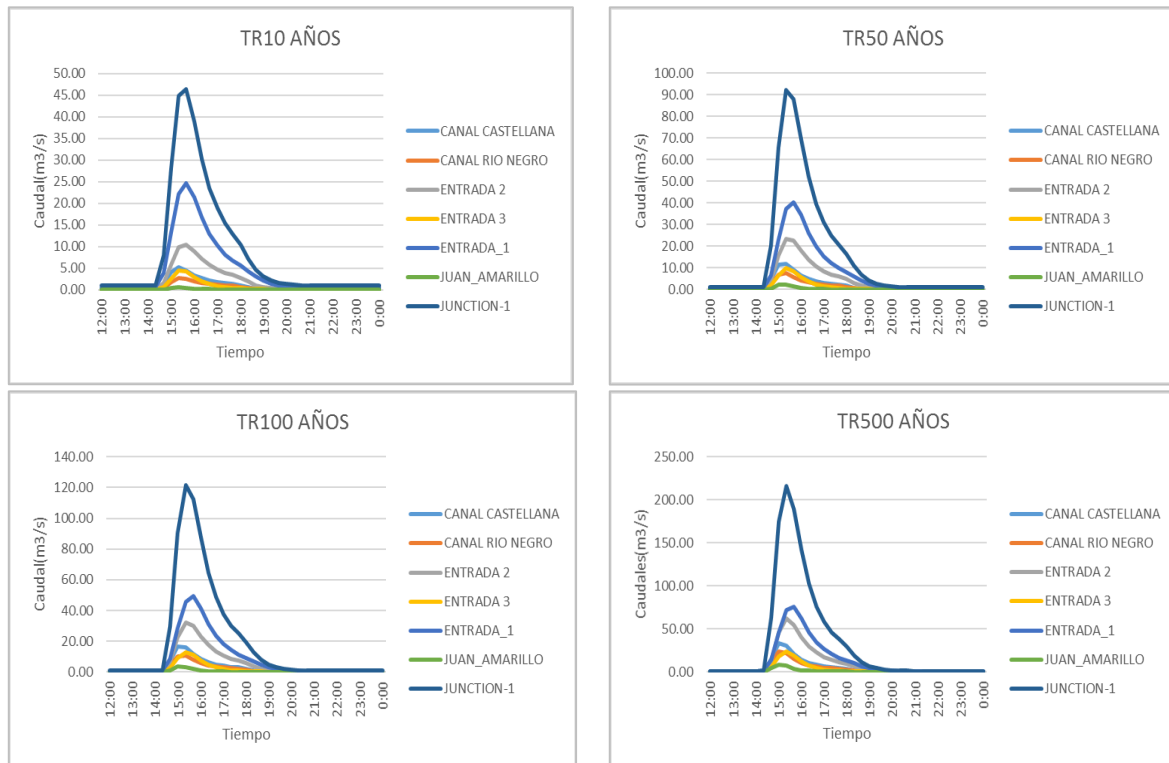
Fuente: Proyecto POT

10.3.5.3 Rio Salitre

En la cuenca del rio salitre se establecen Hidrogramas para las diferentes entradas al modelo hidrodinámico, para el parámetro de perdida en las diferentes cuencas, se tuvo en cuenta la información recolectada de los estudios realizados por EAB en el Rio Salitre e información.

A continuación, se presenta una primera aproximación de los Hidrogramas para diferente periodo de retorno sin tener en cuenta la calibración mediante.

Figura 10.25 Hidrogramas de Crecientes Rio Salitre



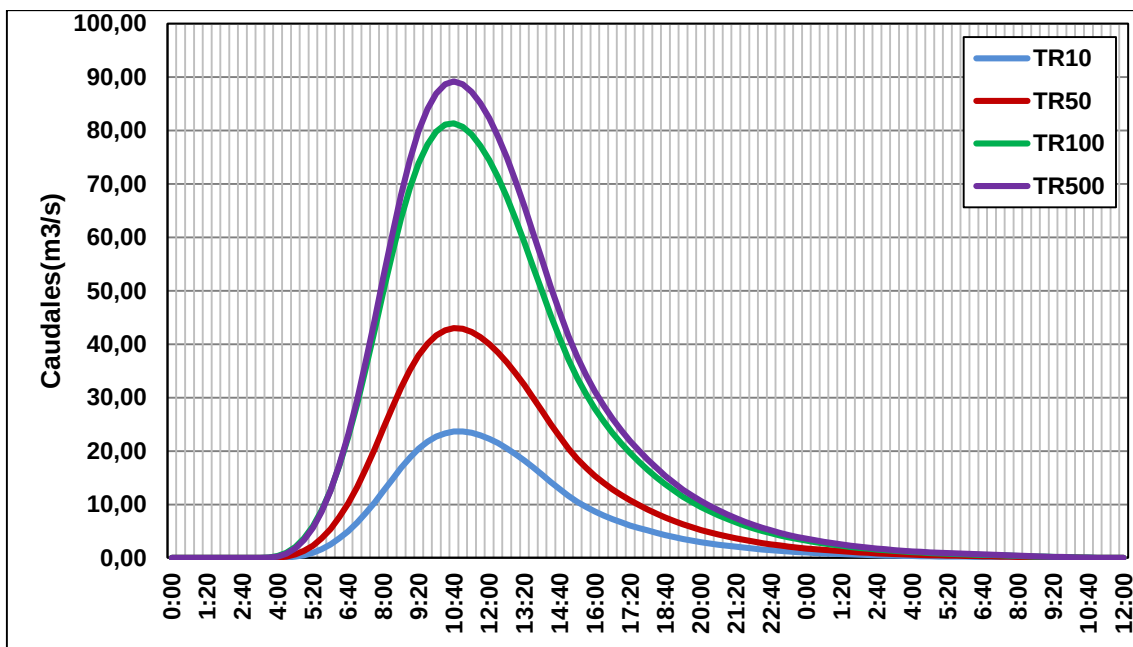
Fuente: Proyecto POT

10.3.5.4 Rio Bogotá

En el punto de entrada al Rio Bogotá, cercano al sector de Puente la virgen, se generaron los Hidrogramas de entrada al modelo hidrodinámico los cuales se presentan a continuación, en la calibración de estos Hidrogramas se tuvieron en cuenta datos de la estación puente la virgen perteneciente a la empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá.

Página 182 de 306

Figura 10.26 Hidrogramas de Crecientes Río Bogotá



Fuente: Proyecto POT

10.4 CALIBRACIÓN MODELOS HIDROLÓGICOS

Para la actualización de las Áreas de inundación en el plan de ordenamiento territorial, fue necesario buscar estrategias en la generación de caudales para cada una de las fuentes presentes. En el desarrollo de este proyecto en una primera instancia se generaron Hidrogramas para diferentes periodos de retorno, estos fueron calibrados empleando parámetros de pérdida y transformación provenientes de estudios en detalle de cada cuerpo hídrico.

A continuación, se presentan caudales de referencia extraídos de estudios en detalle de los cuerpos hídricos estudiados con los cuales se generó el proceso de calibración.

10.4.1 Río Tunjuelo

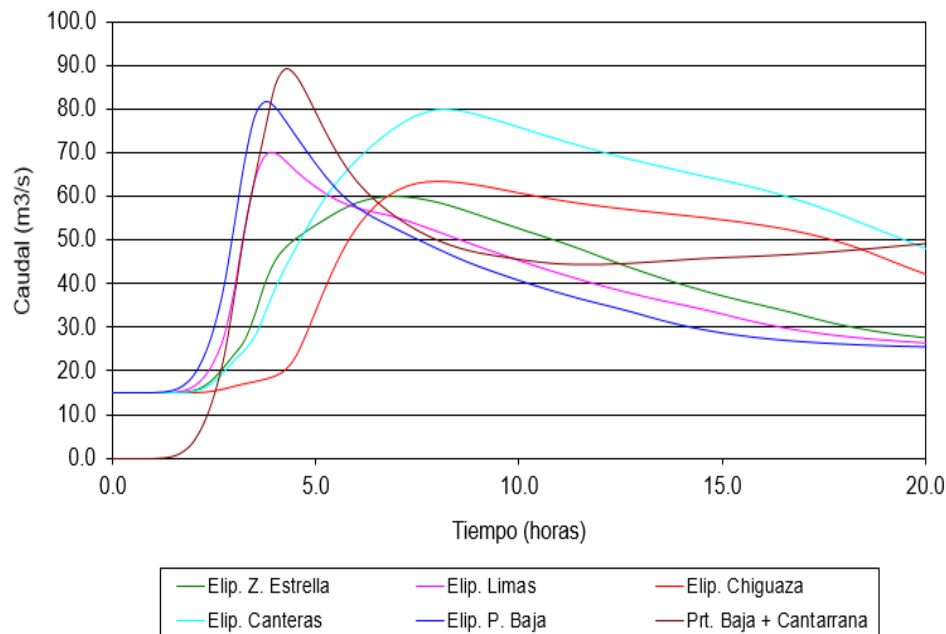
En la cuenca del río Tunjuelo se encontraron informes en detalle los cuales habían generado modelos hidrológicos en el año 2012 para algunos afluentes del cauce principal, entre ellos Quebrada limas, Gravilleras, Chiguaza y la Estrella.

Además de contar con los volúmenes en algunas fuentes hídricas fue necesario generar una estrategia para formular un escenario con los volúmenes que probablemente puede

generar cantarrana, es necesario resaltar que actualmente se encuentra una estructura de represamiento la cual no permite el paso constante de caudales, en este caso se generaron escenarios con la totalidad del rendimiento que podría generar la cuenca hasta el punto de cantarrana.

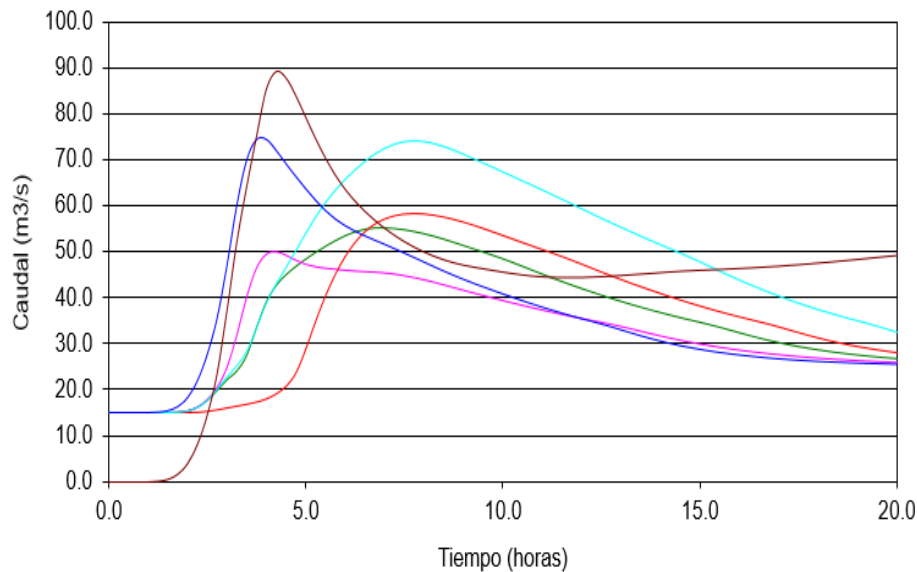
A continuación, se presenta algunos Hidrogramas extraídos del estudio “Modelación Hidráulica para las cuencas de los Ríos Tunjuelo y Fucha en las condiciones Actuales. Producto Río Tunjuelo”

Figura 10.27 Hidrogramas de Calibración, Estudios Río Tunjuelo





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



— Elip. Z. Estrella	— Elip. Limas	— Elip. Chiguaza
— Elip. Canteras	— Elip. P. Baja	— Pte. Baja + Cantarrana

Fuente: Proyecto POT

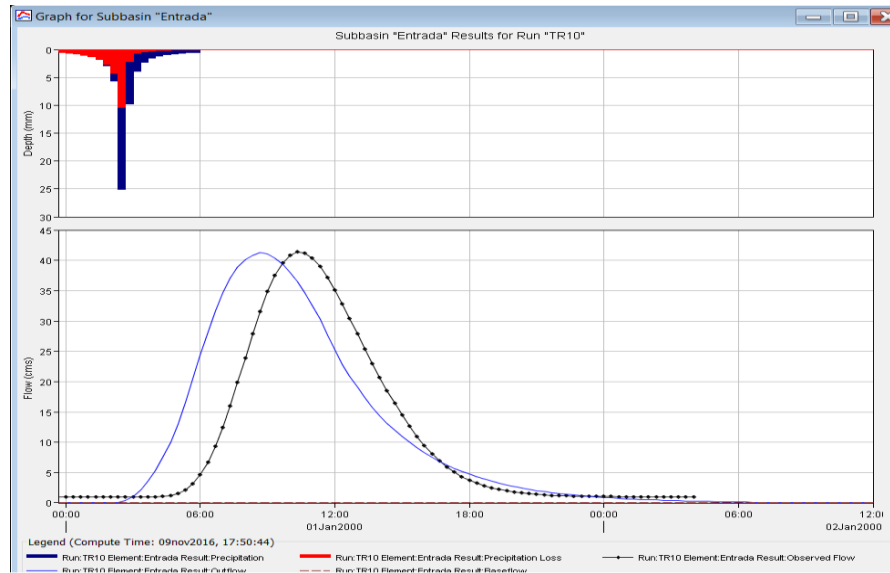
10.4.2 Río Fucha

En la cuenca del río Fucha se emplearon Hidrogramas para un periodo de retorno de 10 años, de tal forma se calibraron los parámetros del modelo hidrológico (perdida y transformación).

Posterior a eso se generaron las modelaciones para diferentes periodos de retorno, en esta cuenca se tenían nueve entradas a lo largo de todo el cauce principal, teniendo en cuenta que la principal con un mayor volumen era el canal san francisco y comuneros.

A continuación, se presenta el proceso de calibración para una de las entradas al modelo, en este caso la cuenca alta para un periodo de retorno de 10 años.

Figura 10.28. Hidrogramas de calibración Río Fucha



Fuente: Proyecto POT

10.4.3 Río Salitre

Para el cauce del Río Salitre, la calibración fue la más compleja debido a la falta de información hidrológica, es necesario resaltar que este cuerpo hídrico no cuenta con instrumentación para la medición de Caudales y además son muy pocos los estudios en detalle para este cuerpo hídrico, por lo tanto, la calibración se efectuó teniendo en cuenta algunos caudales presentados en el “Modelo Sewer Gems - Canal Salitre” y el plan de manejo del humedal Juan Amarillo.

A continuación, se presentan caudales puntuales asociados a diferentes periodos de retorno en el sector del humedal Juan Amarillo.

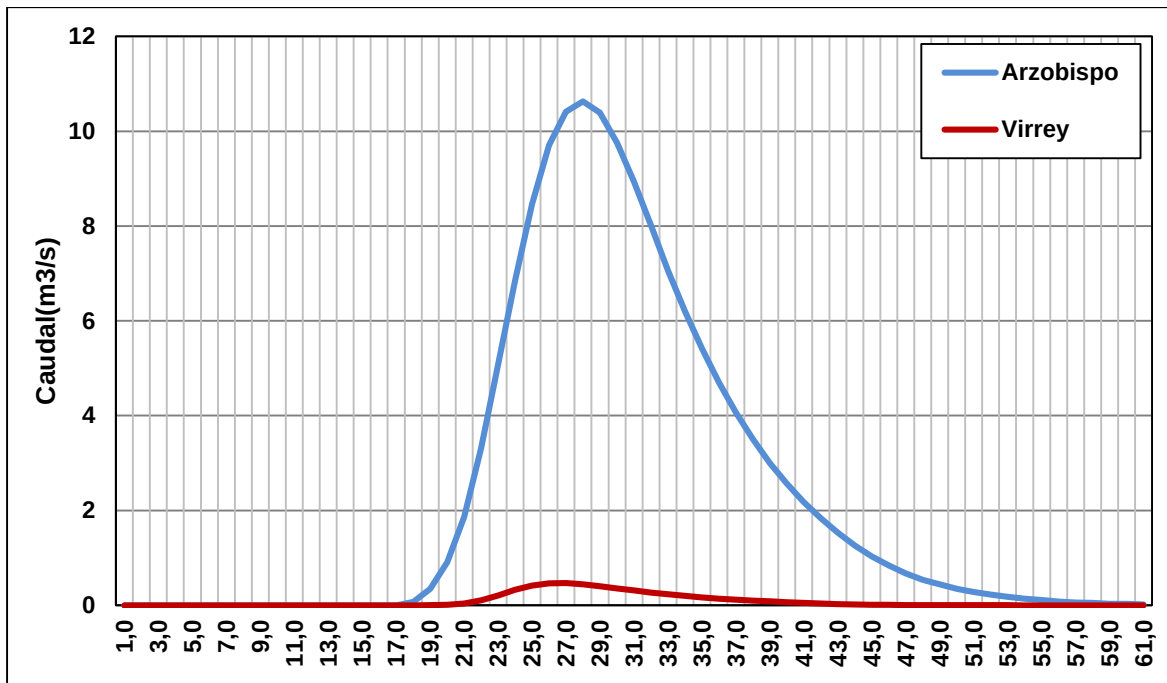
Tabla 10.6 Caudales Máximos Río Salitre

Periodo de Retorno	Caudales m ³ /s
3	90.08
5	104.24
10	133.83
25	186.91
50	229.17
100	248.52

Fuente: Proyecto POT

A partir del modelo Sewer Gems se extrajeron Hidrogramas en el sector del Virrey y el Arzobispo para periodos de retorno de 10 y 50 años, los cuales sirvieron para corregir los parámetros de pérdida y transformación en el modelo hidrológico del SCS.

Figura 10.29 Hidrogramas de calibración Rio Salitre



Fuente: Proyecto POT

10.4.4 Río Bogotá

En la cuenca del río Bogotá, debido a su instrumentación por parte de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR y la Empresa de Acueducto de Bogotá, en todo el transcurso de su cauce principal, se emplearon los caudales máximos mensuales en la calibración del modelo Hidrológico, fue necesario realizar un análisis de probabilidad, para estimar caudales asociados a diferentes periodos de retorno.

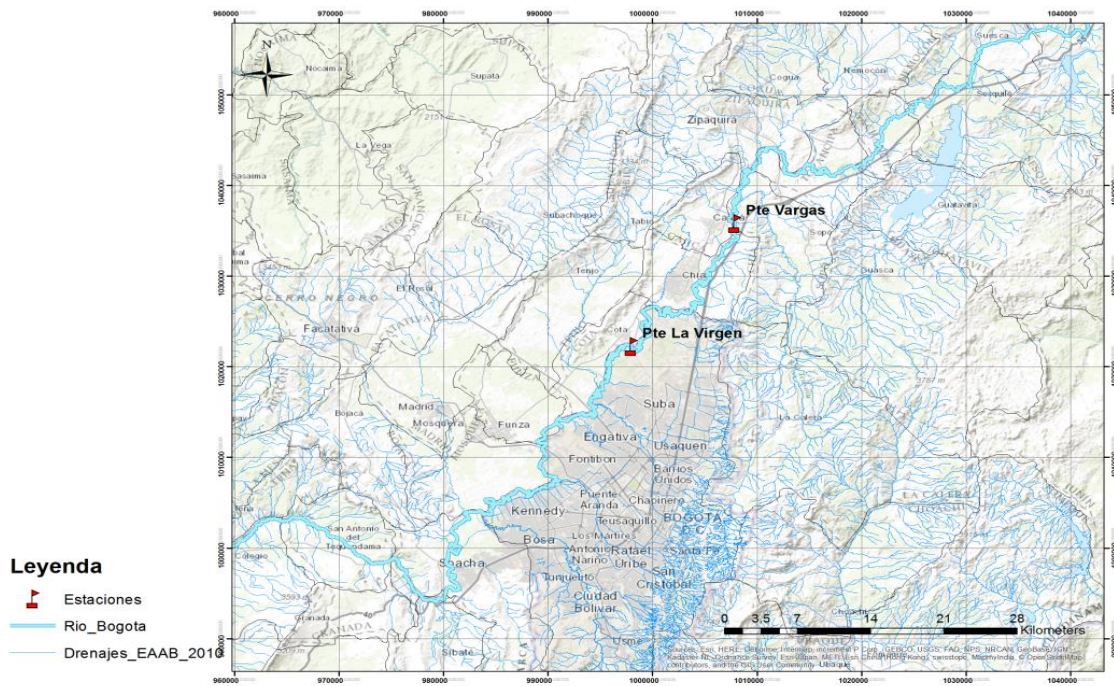
Las estaciones con mayor relevancia en el sector de interés para el inicio de la modelación Hidrodinámica son la estación Puente Vargas y la estación Puente La Virgen, las cuales se representan espacialmente en la figura anterior.

Los caudales que se tuvieron en cuenta para la calibración en el sector del río Bogotá corresponden a la estación puente la virgen por si cercanía al punto de interés.



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

Figura 10.30 Estaciones Río Bogotá



Fuente: Proyecto POT

Tabla 10.7 Caudales Máximos estaciones Río Bogotá

TR	Max	
	Puente La Virgen	Puente Vargas
2.33	34.19	33.15
5	42.9	42.43
10	50	49.98
15	54.01	54.24
20	56.81	57.23
30	60.73	61.4
50	65.63	66.61
75	69.49	70.73
100	72.23	73.64
200	78.81	80.64
300	82.66	84.73
500	87.49	89.88

Fuente: Proyecto POT

10.5 RESULTADOS CRECIENTES MÁXIMAS

Luego de realizar varios experimentos numéricos en los cuerpos hídricos de interés, y por tiempos computacionales se decidió pasar de Hidrogramas de crecientes a caudales permanentes en diferentes periodos de retorno, es necesario tener en cuenta que el caudal permanente en un determinado cuerpo hídrico no corresponde necesariamente al caudal pico generado en un evento determinado.

Para determinar el caudal permanente se estimó el volumen total perteneciente al área bajo la curva del hidrograma.

De tal forma se generaron caudales puntuales para diferentes periodos de retorno en los cuerpos hídricos de interés, siendo calibrados con información secundaria y recopilación de caudales instantáneos en las cuencas instrumentadas. A continuación, se relaciona la información referente a caudales puntuales asociados a diferentes periodos de retorno.

Tabla 10.8. Caudales Permanentes cuerpos Hídricos

Cuenca	Entrada	Periodos de Retorno						
		10	30	50	70	100	200	500
Tunjuelo	Cantarrana	20	26	31	37	45	48	55
	Q Yomasa	1.3	6	10	14	20.8	22	25
	Q Botello	1.5	5	9	12	17.8	19	22
	Q Yerbabuena	5	9	13	18	23.9	25	27
	Q trompeta	3.8	6	7	9	12	13	16
	Q Bolonia	0.61	3	5	7	10.2	11	13
	Q Estrella	6.5	9	11	13	15.5	16	17.3
	Q Fiscala	0.4	2	3	4	6	7	9.2
	Q limas	3.7	5	7	9	11	12	14.2
	Q Chiguaza	6.7	12	16	21	28.5	30	33.4
	Canal 3	1.8	3	5	6	8.4	9	10.9
	cana 1	1.7	3	4	5	6.6	8	11
	embalse	1	2	2	3	4.3	5	6
Fucha	Entrada	20	34	47	61	80.8	86	100.5
	Albina	5.1	8	11	14	19	20	24.4
	Seco	1.4	2	3	3	4.2	4	5.3
	San Francisco	10	19	28	37	50.6	53	61.6
	Comuneros	7.5	10	13	16	20.4	21	23.2
Salitre	Entrada 2	4.5	10	16	22	30	31	35
	Entrada 1	8.4	17	26	34	47	49	55



**ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.**

AMBIENTE
Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático

Cuenca	Entrada	Periodos de Retorno						
		10	30	50	70	100	200	500
	Canal Castellana	2.2	5	8	11	16	17	18.3
	Entrada 3	3.2	5	8	10	13	14	15.3
	Canal Rio negro	1.2	3	5	7	10.6	12	15
	Juan Amarillo	0.5	1	2	2	3.4	4	5.4
Bogotá	Bogotá	50	61	66	68	72.23	79	87.49

Fuente: Proyecto POT

10.6 ANÁLISIS DE CAUDALES MÁXIMOS REGISTRADOS

Este análisis consiste en la estimación de caudales, a partir de la información histórica de caudales registrados en los principales afluentes al río Bogotá en el sector de estudio. El análisis hidrológico realizado para el cálculo de caudales para la modelación hidráulica se basó en los registros históricos de las estaciones ubicadas en el río Bogotá y los respectivos balances entre ellas para lograr determinar de forma indirecta los caudales máximos registrados en los afluentes al río en el sector de estudio. En esta sección, se presenta el análisis de la información registrada y los respectivos balances.

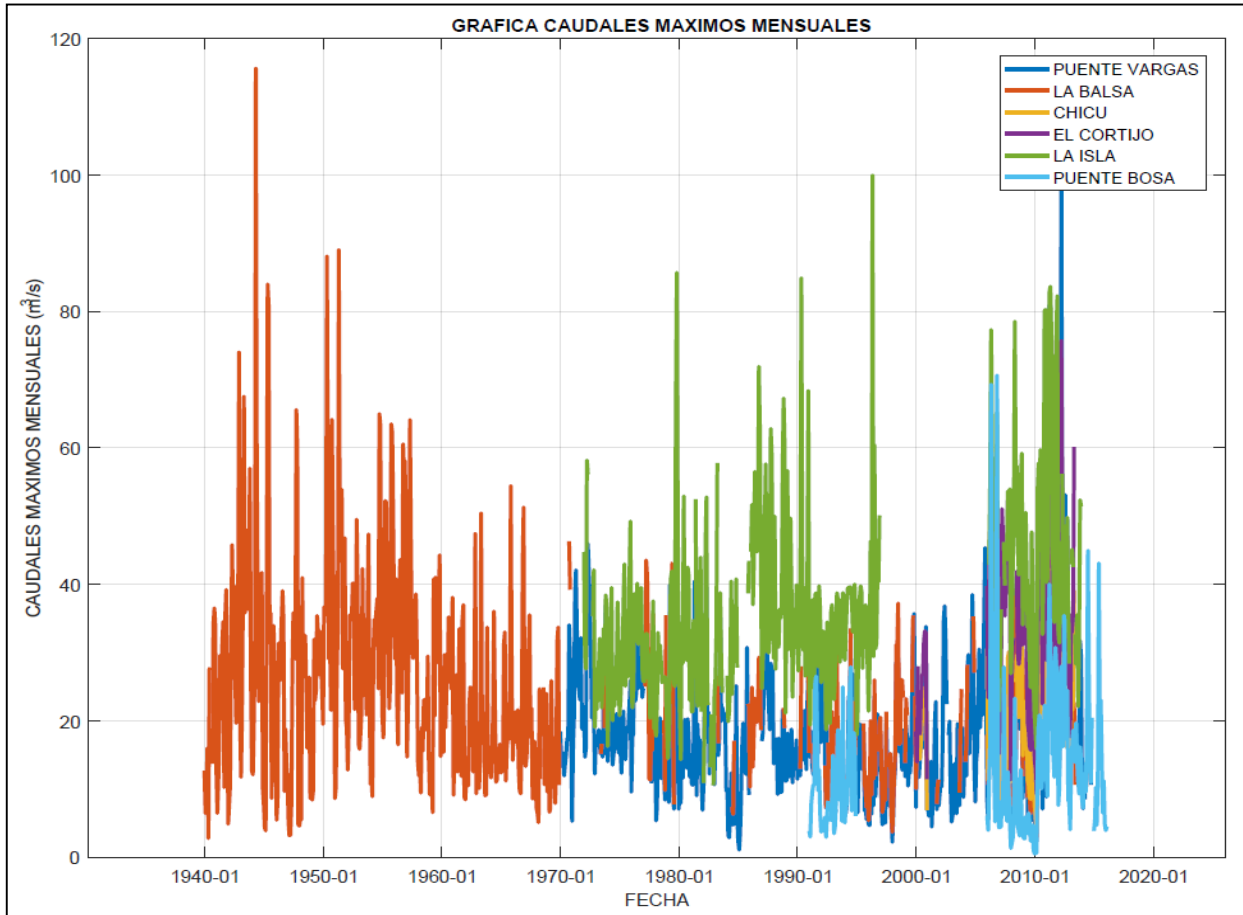
En la Figura 10.31 se presenta las series de tiempo de caudales máximos mensuales de las estaciones Puente Vargas, La Balsa, Chicú, El Cortijo, La Isla ubicadas en el río Bogotá y Puente Bosa ubicada en el río Tunjuelo, para el periodo 1940-2015, sin embargo dado que la información simultánea en estas estaciones es reciente, en la Figura 10.31 se presenta el periodo 2006-2015. La ubicación de las estaciones se presenta en la Figura 10.34.



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.

AMBIENTE
Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático

Figura 10.31. Caudales máximos mensuales registrados en las estaciones Puente Vargas, La Balsa, Chicú, El Cortijo, La Isla ubicadas en el río Bogotá y Puente Bosa ubicada en el río Tunjuelo, Periodo 1940-2015



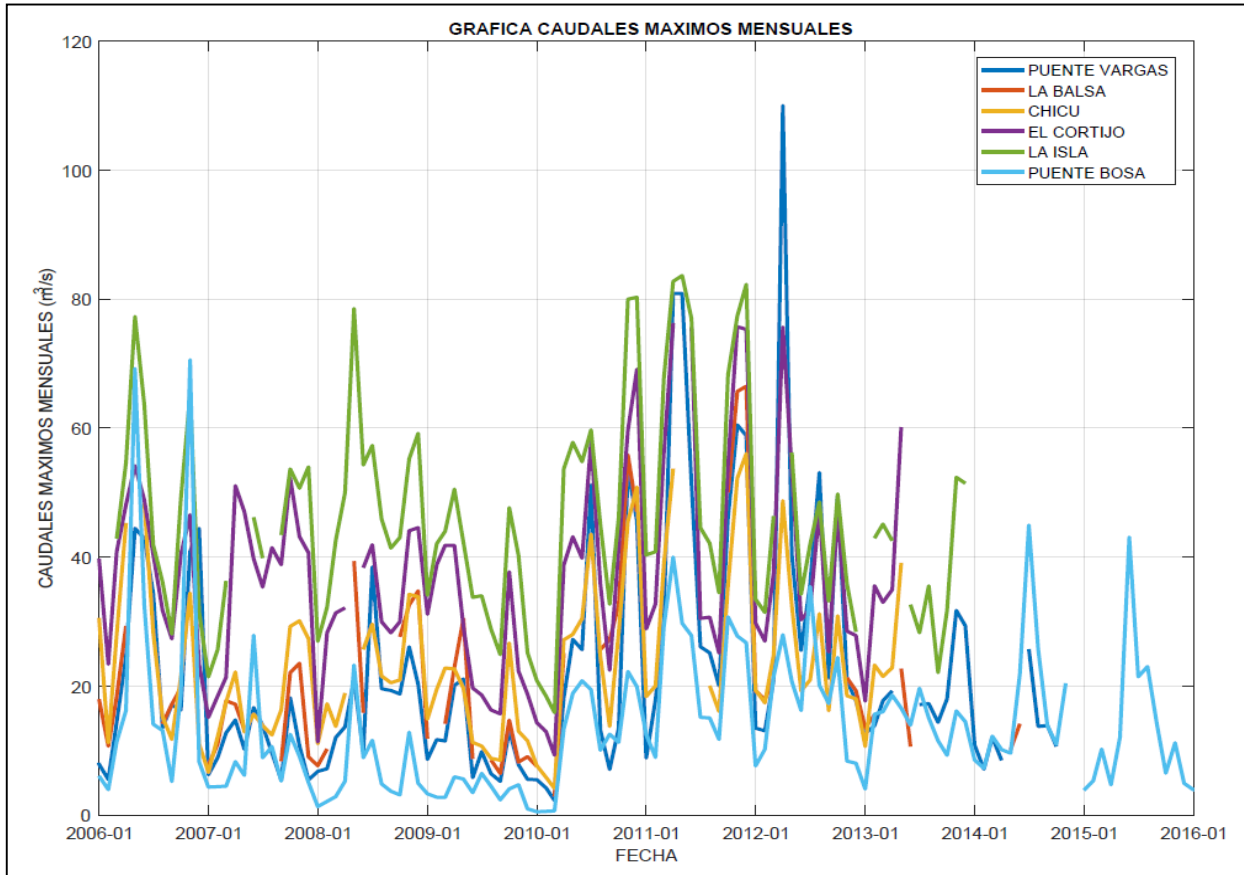
Fuente: Proyecto POT



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.

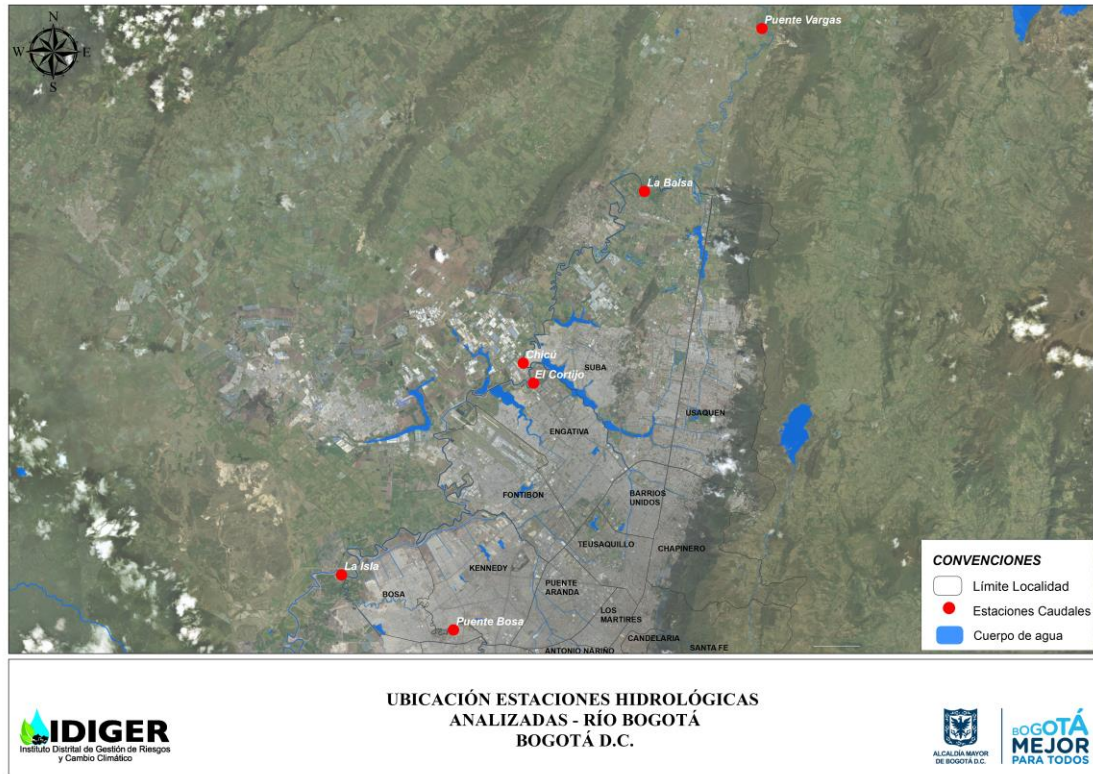
AMBIENTE
Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático

Figura 10.32. Caudales máximos mensuales registrados en las estaciones Puente Vargas, La Balsa, Chicú, El Cortijo, La Isla ubicadas en el río Bogotá y Puente Bosa ubicada en el río Tunjuelo, Periodo 2006-2015



Fuente: Proyecto POT

Figura 10.33: Ubicación estaciones hidrológicas analizadas



Fuente: Proyecto POT

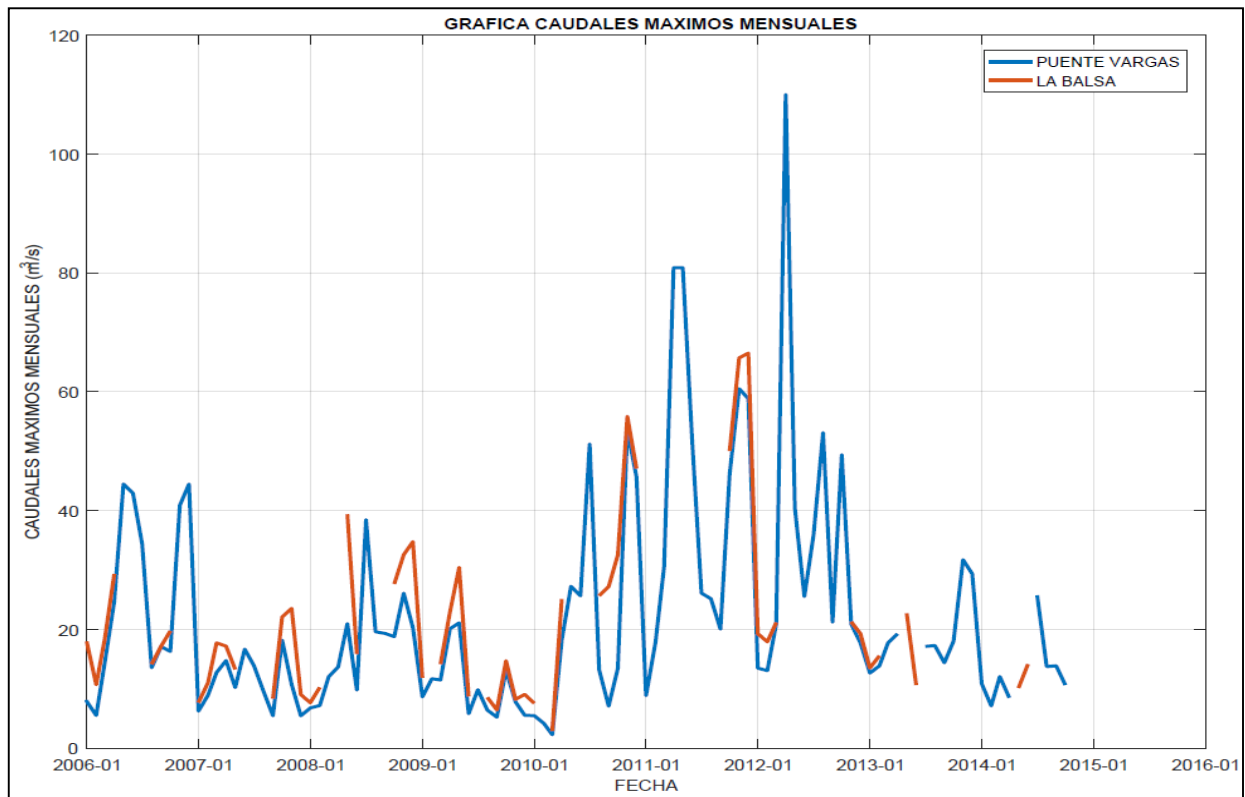
Los afluentes Torca, Salitre - Juan Amarillo y Fucha no cuentan con la información histórica de caudales máximos mensuales que permita de forma directa estimar los caudales de entrada para el modelo hidráulico. Por este motivo se optó por realizar un balance no simultáneo de caudales con el fin de tener el orden de magnitud de los caudales máximos registrados en los afluentes de la siguiente forma.

- Para el río Bogotá se utiliza la serie de tiempo de la estación Puente Vargas.
- Para el río Torca se realiza un balance entre las estaciones Puente Vargas y la balsa. En la Figura 10.34 se presenta las series de tiempo de estas estaciones para el periodo de tiempo 2006-2015.
- Para el río Salitre - Juan Amarillo se realiza un balance entre las estaciones Chicú y El Cortijo. En la Figura 10.35 se presenta las series de tiempo de estas estaciones para el periodo de tiempo 2006-2015.
- Para el río Fucha se realiza un balance entre las estaciones El Cortijo y La Isla. En la Figura 10.36 se presenta las series de tiempo de estas estaciones para el periodo de tiempo 2006-2015.

- Para el río Tunjuelo se utiliza la serie de tiempo de la estación Puente Bosa.
- Los caudales aportantes de las plantas elevadoras se encuentran medidos de forma intrínseca dentro de las series de caudal analizado. No se pueden mostrar debido a que se desconocen los tiempos de operación y los diferentes aportes a lo largo del año.

Los resultados de los balances y la información registrada se presentan en la Figura 10.37.

Figura 10.34. Caudales máximos mensuales registrados en las estaciones Puente Vargas, La Balsa, ubicadas en el río Bogotá, Periodo 2006-2015

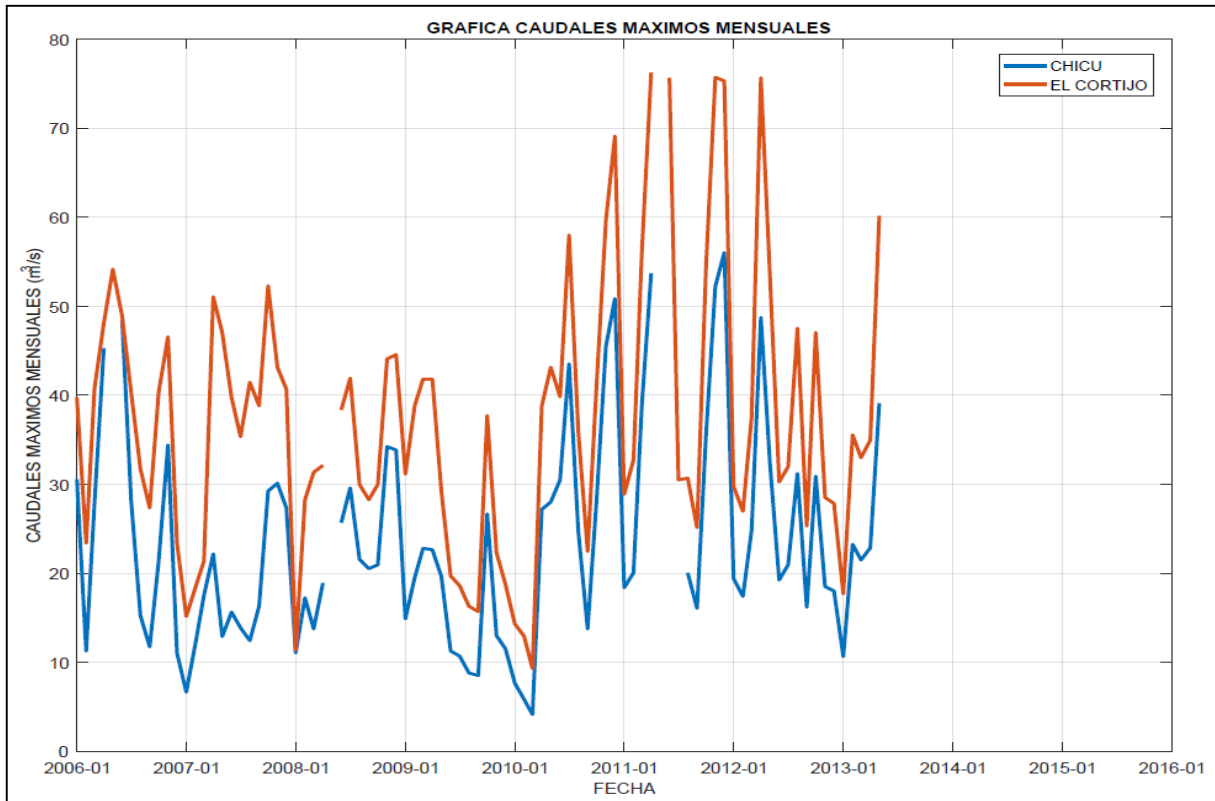


Fuente: Proyecto POT



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

Figura 10.35. Caudales máximos mensuales registrados en las estaciones Chicú, El Cortijo, ubicadas en el río Bogotá, Periodo 2006-2015

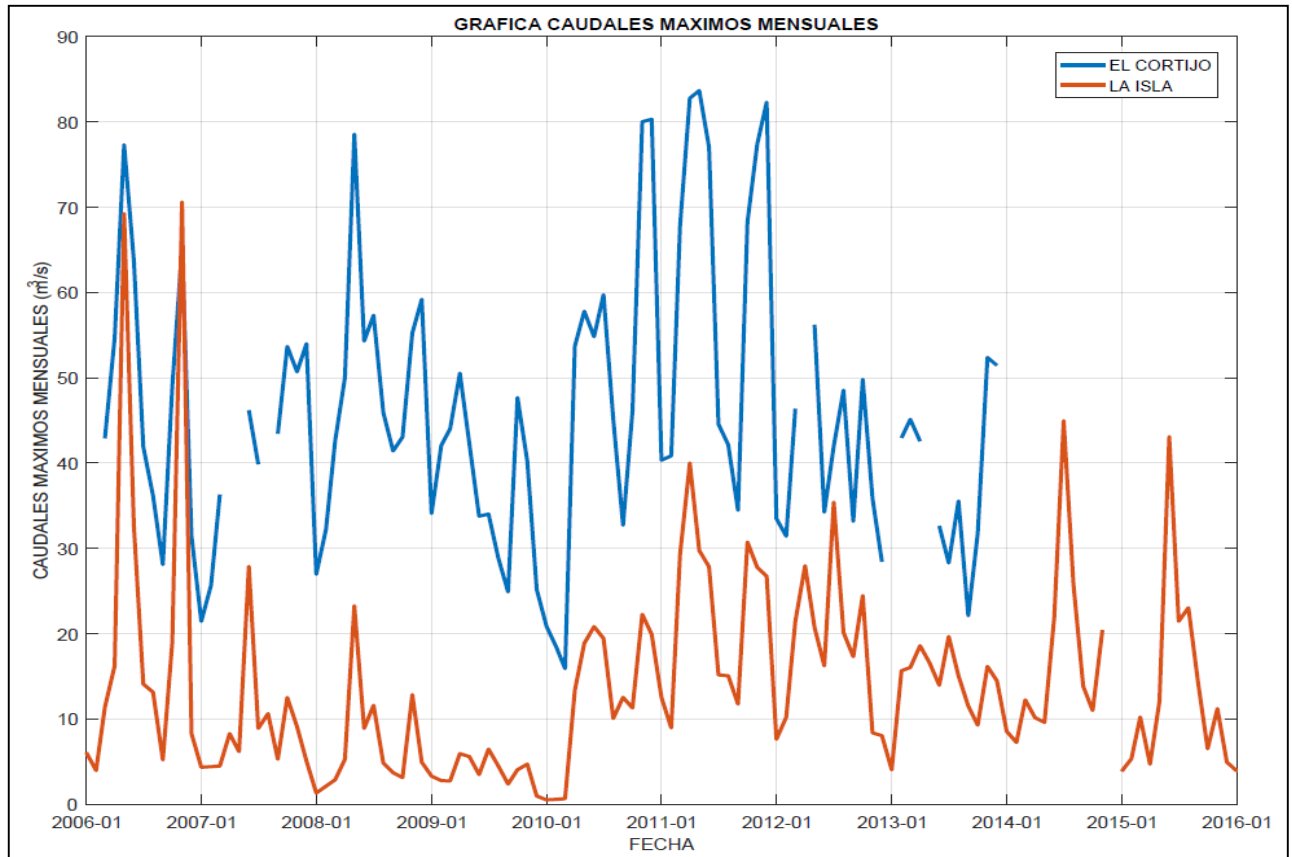


Fuente: Proyecto POT



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

Figura 10.36. Caudales máximos mensuales registrados en las estaciones, El Cortijo, La Isla ubicadas en el río Bogotá, Periodo 2006-2015



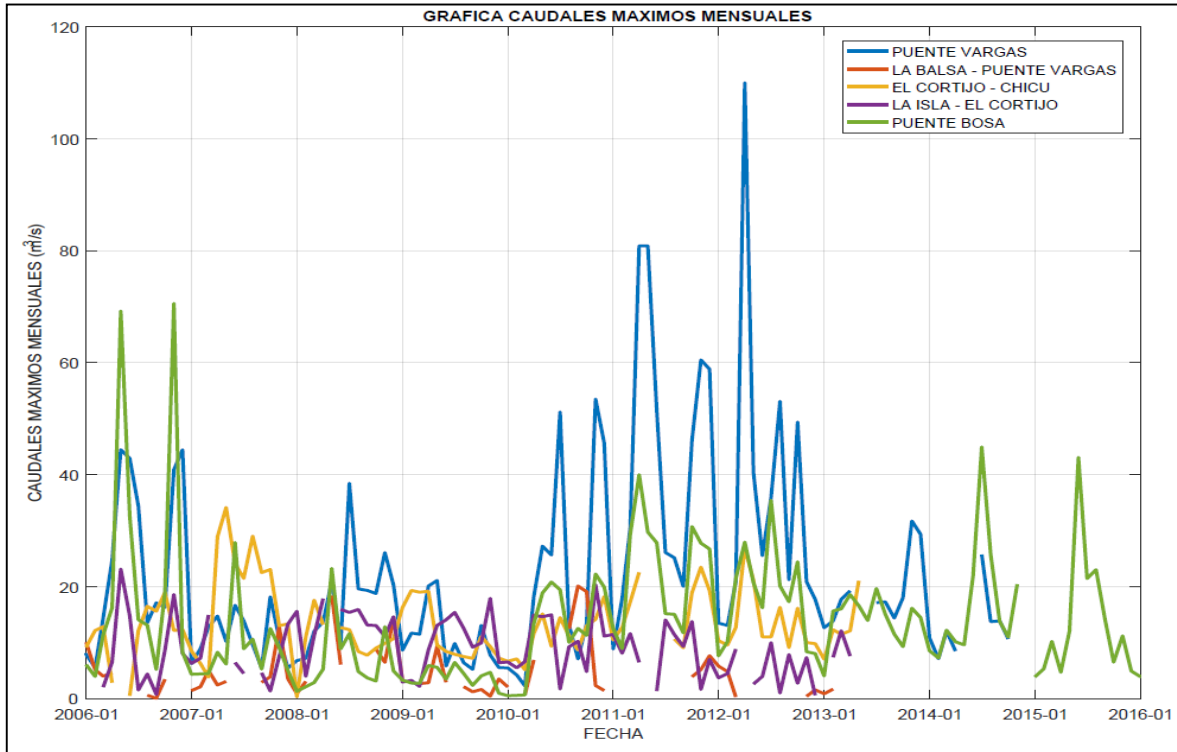
Fuente: Proyecto POT



**ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.**

AMBIENTE
Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático

Figura 10.37. Caudales máximos mensuales registrados y balances en las estaciones Puente Vargas, La Balsa, Chicú, El Cortijo, La Isla ubicadas en el río Bogotá y Puente Bosa ubicada en el río Tunjuelo, Periodo 2006-2015



Fuente: Proyecto POT

Como resultado del análisis de la información registrada y los balances construidos se determinó que el hito histórico de caudal máximo registrado simultáneamente se presentó en diciembre de 2011. Los valores de este escenario registrado se presentan en la Tabla 10.9.

Tabla 10.9. Caudales máximos registrados simultáneamente

Corriente	Caudales Máximos (m³/s) Diciembre 2011	Fuente
Río Bogotá	58.84	Estación Puente Vargas
Río Torca	7.66	Balance Estación La Balsa - Puente Vargas
Río Salitre - Juan Amarillo	19.27	Balance Estación El Cortijo - Chicú
Río Fucha	6.98	Balance Estación La Isla - El Cortijo
Río Tunjuelo	26.72	Estación Puente Bosa

Fuente: Proyecto POT

De igual forma resulta de interés determinar los caudales máximos no simultáneos. En abril de 2012 para el río Bogotá 110.02 m³/s, en septiembre de 2010 para el río Torca 20.11 m³/s aproximadamente, en mayo de 2007 para el río Salitre - Juan Amarillo 34.15 m³/s aproximadamente, en mayo de 2006 para el río Fucha 23.14 m³/s aproximadamente, y en noviembre de 2006 para el río Tunjuelo 70.59 m³/s. El resumen de estos valores se presenta en la Tabla 10.10.

Tabla 10.10: Caudales máximos registrados

Corriente	Caudales (m ³ /s) Máximo Registrado	Fuente
Río Bogotá	110.02	Estación Puente Vargas
Río Torca	20.11	Balance Estación La Balsa - Puente Vargas
Río Salitre - Juan Amarillo	34.15	Balance Estación El Cortijo – Chicú
Río Fucha	23.14	Balance Estación La Isla - El Cortijo
Río Tunjuelo	70.59	Estación Puente Bosa

Fuente: Proyecto POT

Adicionalmente, con el fin de tener certeza de los resultados mostrados en la Tabla 10.10, se realizó la revisión del análisis hidrológico de la CAR para el “Proyecto de adecuación hidráulica y recuperación ambiental del río Bogotá”. En el informe final “Consultoría para la revisión integral de los diseños de adecuación hidráulica del río Bogotá entre el sector de Alicachín municipio Soacha y puente La Virgen municipio de Cota”, se recopilan los caudales calculados para un periodo de retorno de 100 años de diferentes estudios para el río Bogotá, que se pueden apreciar a continuación (Figura 10.38):

Figura 10.38. Caudales para un periodo de retorno de 100 años según distintas fuentes.

	ALICACHIN	TUNJUELO	FUCHA	SALITRE	PTE. LA VIRGEN
	TRAMO A TRAMO B TRAMO C TRAMO D				
Caudales analizados en el capítulo de hidrología de este informe (m ³ /s)	210	130	90	70	
Caudales (hidrogramas) analizados aritméticamente Informe HMV 2003 (m ³ /s)	369	299	118	50	
Caudales estimados en Informe CAR 2008 (m ³ /s)	172	110	100	75	
Caudales adoptados para verificación hidráulica (m ³ /s)	210	175	120	70	

Fuente: Proyecto de adecuación hidráulica y recuperación ambiental del río Bogotá HMV Ingenieros 2011.

Con base en los caudales presentados en la Figura 10.38, se comparan los caudales adoptados en el estudio de (HMV Ingenieros, 2011) para verificar el comportamiento hidráulico de las obras propuestas en el río Bogotá y los obtenidos en el presente análisis, donde se evidencia que estos últimos superan en una magnitud aproximada del 50% los caudales adoptados por HMV para un periodo de retorno de 100 años (ver Tabla 10.11).

Tabla 10.11: Comparacion de caudales máximos registrados y caudales estudio HMV

Tramo	Caudales (m ³ /s) máximos registrados	Caudales (m ³ /s) adoptados para la verificación hidráulica para un período de retorno de 100 años (Estudio HMV 2011)
Puente la Virgen – Salitre–Juan Amarillo	130.13	70
Salitre-Juan Amarillo - Fucha	164.28	120
Fucha – Tunjuelo	187.42	175
Tunjuelo – Alicachín	258.01	210

Fuente: Proyecto POT

10.7 CONSIDERACIÓN EN LOS ANÁLISIS HIDROLÓGICOS DE LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA.

De acuerdo a los escenarios de cambio climático para la ciudad de Bogotá, en los próximos años se espera un incremento de la temperatura entre 0.8°C y 2.2°C y un incremento de la precipitación media de hasta un 10%. Estos cambios proyectados traerán consigo el aumento de la intensidad, la duración y la frecuencia de los fenómenos meteorológicos (lluvia intensa – tormenta), descarga eléctrica (rayo), granizo (vendaval), así como hidroclimáticos extremos (crecientes y desbordamientos súbitos, inundaciones súbitas), los cuales pueden generar impactos importantes.

De igual forma los efectos del cambio climático sobre el ciclo hidrológico y el ciclo de los sedimentos podrían generar alteraciones en la disponibilidad del agua para los diferentes usos y modificaciones importantes en la escorrentía, entre otros.

Para el análisis hidrológico se tomó como base el estudio de Caracterización de Tormentas y Actualización de Curvas Intensidad Duración Frecuencia de la EAB realizado por INGETEC (2015), el cual contempla registros de precipitación hasta el año 2015, entre los cuales se encuentran los fenómenos de variabilidad climática (El Niño y La Niña) ocurridos en los últimos años, los cuales tienen incidencia en la generación de eventos de inundación en el Distrito Capital y que permiten valorar su impacto en el aumento de los caudales contemplados en la modelación hidráulica.

11 ANÁLISIS HIDRÁULICO

Los modelos hidrodinámicos se clasifican como modelaciones matemáticas, los cuales constituye un método cognoscitivo en el que el objeto de estudio o cognitivo (río, humedales, quebradas, entre otros) es reemplazado con otro, llamado modelo (imagen matemática) que cumple con relación al primero unas condiciones de analogía y semejanza, es decir que hay una equivalencia entre los resultados del modelo y el tramo del objeto de estudio (Domínguez, 2011), lo anterior se implementa mediante un algoritmo lógico – numérico, ejecutado por un ordenador, permitiendo así estudiar la cualidades del proceso original (Domínguez, 2011; Pena, 2011).

Partiendo de lo anterior, los modelos hidrodinámicos guardan esa analogía y semejanza con los cuerpos de agua superficial tanto loticos como lenticos y que permiten estimar la delimitación de la amenaza de inundación en áreas adyacentes a los mismos y susceptibles a este fenómeno, relacionando los caudales circundantes (producto del modelo hidrológico establecido) al eje ecológico principal y planicies de inundación, que asocian a su vez un campo de alturas de lámina de agua y un campo de velocidades. (Ashley et al., 2005). Dichos modelos cuando se usan para la gestión del riesgo de inundación y en general el entendimiento hidrodinámico del tramo de simulación, se establece una serie de aproximaciones sucesivas mediante la modificación del dominio computacional (diferentes áreas de inundación), variaciones en el refinamiento de malla y geometría, relacionando lo anterior a diferentes periodos de retorno y planteamiento de escenarios futuros, asociados con cambios en las variables ambientales y geométricas del medio. (vente Chow, 1994; Ashley et al., 2005; Middelkoop et al., 2004; Gonzalo, 2011; Pena, 2011).

Dichos modelos matemáticos pueden clasificarse en primera instancia según tres criterios, (Domínguez, 2011), como se menciona a continuación:

- El **primer criterio** se base en la capacidad del modelo en tener presente la incertidumbre del proceso, diferenciándolos en modelos determinista, el cual sus valores de entrada y parámetros definirán un conjunto finito de valores de salida, asumiendo un control del proceso de análisis y su aplicación al problema directo. Caso contrario son los modelos estocásticos, que a cierto conjunto de datos de entrada le corresponden diferentes conjuntos de salida con una probabilidad de ocurrencia, por lo que la variable de estado es de carácter aleatorio
- El **segundo criterio** se centra en la capacidad del modelo en determinar las variaciones temporales (evolución) del proceso de análisis, de ser así estaríamos hablando de un modelo dinámico o no estacionario, en los que el tiempo es una variable independiente. Si el modelo carece de esa propiedad hablamos de un modelo estático o estacionario.
- El **tercer criterio** analiza el número de dimensiones en las que se soluciona la variable de estado y los parámetros del modelo. Si la estructura del modelo

matemático solo tiene presente los cambios en una dimensión, como es el caso del tiempo, estaremos hablando de modelos aglutinados, mientras que, si las soluciones tienen en cuenta dos o más dimensiones, estableciendo los cambios de las variables en el tiempo en una coordenada o dos, definiendo esto como modelos distribuidos.

Centrando el interés a modelaciones de la propagación de avenidas en ríos la estructura del modelo se centra en resolver las ecuaciones del flujo variable en lámina libre o ecuaciones de Saint Venant, las cuales se deducen las ecuaciones de las leyes físicas de conservación de un fluido (Bladé, 2009). Dichos modelos parten de la simplificación del problema y eso repercute en las ecuaciones de gobierno que tienen una precisión adecuada y minimizan el costo computacional, ya que dichas ecuaciones parten de las establecidas por Navier – Stokes, las cuales describen el movimiento instantáneo y las variables medias del teorema de Reynolds y su discretización es tridimensional a lo largo del dominio de estudio. Las simplificaciones se centran primordialmente en integrar la profundidad de las ecuaciones Reynolds, eliminando la dimensión vertical, obteniendo las ecuaciones en dos dimensiones (2D); el siguiente paso es llevarlas a una dimensión (1D), siendo ecuaciones más simples que pueden representar el movimiento de la onda en no permanente.

Los modelos desarrollados por lo general tienen una relación en la permanencia de los caudales modelados en función del tiempo (permanente y no permanente), dado la discretización del esquema numérico que utilicen, dando una versatilidad de los mismos en el segundo criterio de selección descrito, ya que los análisis pueden simplificar el problema (permanente) o aproximando al mismo, al momento de una modelación de crecientes, ya que las corrientes con una pendiente y velocidad alta, como es el caso de las corrientes líticas o de montaña, pueden conservar la consistencia en pequeños intervalos de tiempo, (Pena, 2011; Bladé, 2009).

Paralelamente, el tercer criterio de selección es el que mayor incidencia tiene a la hora de diferenciar este tipo de modelos, en donde el objetivo final es la resolución conjunta de las ecuaciones de gobierno en 1D o 2D, encontrando el balance entre la lógica del problema a describir, su precisión y costo.

11.1 MODELOS UNIDIMENSIONALES

Los modelos unidimensionales, son aplicables en la hidráulica fluvial cuando el flujo este contenido dentro del eje ambiental en cauces, naturales o artificiales, o cuando el problema con un comportamiento netamente bidimensional no es posible implementar por la carencia de insumos. Lo anterior indica que la profundidad de la lámina de agua y velocidad sólo varían en la dirección longitudinal del canal y donde la velocidad es quasi-uniforme en la misma, limitando a las ecuaciones cuando el eje del tramo de simulación tiene sinuosidades elevadas y se hay presencia de desbordamientos

Página 201 de 306

localizados, estos comportamientos originan que flujo deje de ser perpendicular a la sección, donde no es suficiente el cálculo de la velocidad media y constante a lo largo del tramo de interés, si que hay zonas de recirculación. Por otro lado, los modelos 1D pueden ser útiles al ser estos más sencillos y económicos pudiéndose obtener conclusiones más fácilmente, (Bladé, 2009; Herrero y Isidro, 2009)

Las ecuaciones de Saint Venant unidimensionales se pueden implementar de la siguiente forma:

- Simplificando las ecuaciones bidimensionales, mediante la eliminación de los términos de la dimensión y , promediando el ancho, esta adecuación solo aplicaría para secciones rectangulares, (Bladé, 2009).
- Deducir las ecuaciones de gobierno del problema utilizando las leyes de conservación de la masa y de la cantidad de movimiento, respectivamente, la relación de caudal que entrante al volumen de control y su respectiva salida en un dominio de control al ritmo que varía su densidad, y la igualdad entre variación de la cantidad de movimiento y resultante de las fuerzas exteriores que actúan sobre el fluido, (Herrero y Isidro, 2009).

Según los descrito por Barré de Saint Venant en 1871, que sirven para describir tanto el régimen gradualmente variable como el rápidamente variable. El régimen variable se suele subdividir en régimen gradualmente variable, cuando las variaciones en la altura de lámina de agua y caudal se desarrollan en grandes periodos de tiempo y las distancias de cálculo son considerables cuando la avenida se produce en un régimen lento y los ríos son de dimensiones considerables, y en régimen rápidamente variado, cuando estas variaciones tienen lugar en tiempos y distancias cortos con es el caso de un resalto hidráulico o rompimiento de presa, entre otros, (Bladé, 2009). Pero dichas ecuaciones de gobierno no son aplicables a geometrías reales con métodos analíticos, mientras que modelos físicos resulta complejo y costoso, por lo que las modelaciones matemáticas cogen auge, mediante la resolución mediante métodos numéricos.

Los esquemas numéricos más difundidos se pueden clasificar en tres grandes grupos, que son el método de las características, los métodos en diferencias finitas y los métodos en elementos finitos.

Los métodos en diferencias finitas pueden ser explícitas o implícitas, dependiendo de cómo se discretizar la solución temporal. Los dominios se realizan mediante nodos distribuidos equidistantemente o secciones transversales geométricamente simplificados y se resuelven en cada uno de ellos, en cada instante de tiempo. Los esquemas numéricos explícitos de mayor uso son los de tipo difusivo Lax-Friedrichs, Leap-Frog, McCormack, Lambda, etc. Donde esquemas de segundo orden de precisión, como el McCormack, tiene una mejor acogida y precisión. Los esquemas implícitos, tiene problemas en cumplir los criterios de estabilidad del número de Courant (CFL), debido a los pequeños

incrementos de tiempo. Como Conclusión los métodos implícitos son más costosos computacionalmente pero más estables en comparación de lo explícitos, pero dicho comportamiento se minimiza cuando el flujo es rápidamente variable.

El método de los elementos finitos presenta limitaciones a la hora de recrear el componente activo de las ecuaciones de Saint Venant, que forman un sistema hiperbólico, mientras que para comportamiento difusivos se describen mejor en ecuaciones elípticas o parabólicas, lo anterior aumentan los tiempos de cálculo al momento de hacer la aproximación a problemas no lineales, además de integrar el campo temporal por medio de otro esquema numérico como lo es las diferencias finitas y no termina aportando diferencias considerables frente a otros métodos.

Otras variantes, enfatizan sus esfuerzos en reducir los problemas de estabilidad y oscilaciones no reales de la solución, cuando el flujo ya no es gradualmente variable, sino rápidamente variable, para ello se aplican los métodos de aislamiento del frente de onda (o *Shock Fitting methods*) y Métodos directos (*Through methods* o *Shock Capturing methods*), (Bladé, 2009).

11.2 MODELOS BIDIMENSIONALES

Los modelos bidimensionales, son aplicables en la hidráulica fluvial cuando los fenómenos de avenidas o crecientes ocurren, ya que en un cauce es habitual que el comportamiento hidráulico no se restrinja a la centrolínea unidireccional de un canal principal (entre bancas o eje ecológico principal), sino que se desborde ocupando las márgenes y la llanura de inundación; es por eso que las simplificaciones de los modelos 1D no permiten captar adecuadamente el comportamiento de los flujos secundarios perpendiculares a la dirección de avance del canal principal, ya que dejan de lado las zonas de recirculación, presentes también al emplazar estructuras transversales al cauce, (Bladé, 2009); (Herrero y Isidro, 2009). Existen otras situaciones que también son más adecuadas para la modelización bidimensional como son:

- La confluencia de dos cauces
- El cruce de dos corrientes de agua
- El flujo en un cauce ancho e irregular
- Los flujos alrededor de estructuras
- Derivación de flujo en cauces trenzados
- cauces compuestos
- curvas pronunciadas o los entornos urbanos

Las ecuaciones de Saint Venant bidimensionales se obtienen a partir de las leyes físicas de conservación de la masa y de la cantidad de movimiento, junto con la primera y segunda leyes de la termodinámica, donde se establece que fluido es isotrópico llegando así

a las ecuaciones de promediadas de Reynolds y Navier-Stokes (3D), las cuales descomponen las velocidades instantáneas del flujo en un promedio temporal más sus fluctuaciones, (Launder y Spalding, 1974, Ferziger y Perić 2002; Pope, 2001), Como se mencionó a la hora del cálculo de flujos complejos, el valor de las variables cambia poco en una misma vertical, permitiendo simplificar las ecuaciones Navier-Stokes a dos dimensiones mediante un promedio vertical de las ecuaciones tridimensionales, (Bladé, 2009; Launder y Spalding, 1974; Ferziger y Perić 2002; Pope, 2001) . Para poder hacer esta simplificación se consideran las hipótesis siguientes:

- La profundidad de la lámina de agua h debe ser considerablemente menor, con relación a las otras dimensiones (x , y).
- La Distribución hidrostática de presiones en la vertical, es decir que se debe cumplir que la curvatura de las líneas de corriente sea pequeña, haciendo que componentes de la velocidad y aceleración en el eje z sean despreciables.
- Pendiente de canal debe ser baja.

Como se mencionó, las modelaciones matemáticas son el método cognoscitivo con mayor aplicación, el cual da la aproximación mediante la resolución de métodos numéricos, puesto que los modelos 1D presentan limitaciones, en la práctica se establecieron esquemas cuasi-bidimensionales y luego los esquemas bidimensionales propiamente dichos.

Si bien los esquemas cuasi-bidimensionales aproximan el comportamiento en zonas de inundación, aplicando las ecuaciones de Saint Venant unidimensionales en el cauce principal y recreando las zonas de inundación mediante elementos de almacenamiento. Entre tanto al acceder a herramientas computacional de mejor desempeño en velocidad de procesamiento de datos los modelos hidráulicos evolucionaron a esquemas numéricos más complejos y de mayor resolución dando cabida a los modelos bidimensionales y modelos híbridos

Al igual que en el caso unidimensional, para la resolución de las ecuaciones de Saint Venant en dos dimensiones se han utilizado métodos en diferencias finitas, elementos finitos, volúmenes finitos y el método de las características

Los métodos en diferencias finitas se dividen en esquemas explícitos e implícitos, para la modelización del flujo gradualmente variable y flujo rápidamente variable al incluir esquemas de alta resolución. Los métodos de mayor relevancia son los de direcciones alternadas (ADI, de *Alternate Direction Implicit*). El método de MacCormack, es un esquema en dos pasos (predictor–corrector) explícito, de segundo orden de precisión, compacto, que sirve para flujo gradualmente y rápidamente variado (añadiéndole un término de viscosidad artificial), pero que por requerir pasos de tiempo muy pequeños lo hace muy costo, frete a otros esquemas. Estos modelos presentan buena velocidad de cálculo cuando la complejidad del sistema no es elevada, pero no son versátiles a la hora

de captar geometrías más elaboradas ya que sus mallas son estructuradas, elevando los costos computacionales, al generar cálculos rigurosos en zonas no requeridas, una solución planteada son las mallas curvilíneas las cuales favorecen los cálculos en zonas meándricas pero generar errores hacia los contornos del dominio.

El método de las características redunda en un modelo complejo utilizado para la incorporación de las condiciones de contorno ya que requiere de incremento de tiempo muy pequeños para tener estabilidad numérica para la solución de flujo rápidamente variable, las aproximaciones al fenómeno las realiza por medio del aislamiento del frente de onda (*shock fitting*).

Los programas con esquemas en elementos finitos presentan buenas aproximaciones, pero con las dificultades expuestas en los modelos 1D, pero presentan ventajas, frente a las diferencias finitas, por considerar mallas irregulares adaptadas a los contornos y con distintas densidades en distintas partes del dominio. Sin embargo, esta ventaja también la posee la técnica de los volúmenes finitos, utilizada por la mayoría de esquemas de alta resolución y mucho más sencilla y minimizan los errores frente a discontinuidades en la solución, (Bladé, 2009). Los volúmenes finitos han de mostrada versatilidad a la hora de acoplarse al tipo de ecuaciones hiperbólicas dando buenas solución a los esquemas advectivos que admite. Los volúmenes finitos, descomponen el dominio computacional en polígonos de tres y cuatro lados siendo los volúmenes de control donde se solucionan las ecuaciones de gobierno, cada elemento se compone de nodos que pueden estar distribuidos uniformemente o irregularmente formando una malla no estructurada, o híbrida permitiendo ajustarse a geometrías complejas.

En algunos casos en los que existan áreas cuyo flujo pueda simplificarse a 1D y otras áreas en las que esto sea insuficiente y la simplificación a 2D sea aceptable, la conexión entre ambos modelos permite implementar soluciones capaces de obtener el mejor rendimiento de cada una de las simplificaciones, pero dichas transferencias de información entre esquemas numéricos generan incertidumbres elevadas que pueden estar acompañadas de errores por lo cual es pertinente una calibración del modelo, particularidad que se extiende a todas las herramientas descritas anteriormente.

11.2.1 Modelos hidrodinámicos del mercado

La selección del modelo hidráulico requiere del conocimiento de las condiciones geométricas e hidráulicas del flujo, caracterizando el tramo de estudio y las implicaciones que este tiene a la hora de ser usado como herramienta de toma de decisiones. Es pertinente establecer cuáles son los requerimientos de la herramienta que guarde similitudes y analogías que permitan entender el objeto cognitivo o de estudio, para lograr la mayor certidumbre en los resultados a obtener.

Por ende, es preciso por parte del modelador tener el conocimiento del planteamiento físico y matemático de las ecuaciones de gobierno, para un adecuado análisis de

Página 205 de 306

resultados y una posterior selección de alternativas de solución al problema, donde deberá sopesar los costos de implementación, la información disponible y su estado, la complejidad del entorno y el tiempo que se destine para estudiar el fenómeno ya que de estos últimos dependerá el modelo, la profundidad del análisis y realizar una correcta calibración bajo un modelo estable.

Actualmente es muy común que los problemas alrededor de la hidráulica fluvial se traten con modelos matemáticos por ser más económicos y versátiles que otras modelaciones como la física o la análoga, llevando así una inercia en el desarrollo de códigos, que permitan tener un volumen mayor de datos con ecuaciones más complejas. Es por lo que institutos científicos públicos y privados, universidades y afines, alrededor del mundo centran sus estudios en desarrollar programas que puedan representar de forma aproximada, los complejos procesos fluviales. Como se ha apuntado, estos modelos, unidimensionales o bidimensionales, son muy cómodos de utilizar, dependiendo de interfase de interacción con el usuario en las etapas de pre proceso, proceso y post proceso, dependiendo si es un código abierto, de uso libre o comercial, donde hay que ver si sus esquemas numéricos están en constante evolución y desarrollo; lo último de pende de la acogida de una comunidad investigativa grande, un musculo financiero adecuado e inversiones de mercadeo que lo distribuyan y acrediten.

Por lo tanto, se deben establecer criterios de selección de un modelo de simulación hidráulico, acorde el objeto cognitivo. A continuación, se proponen los siguientes (Pena, 2011):

1. La selección del código tiene que ir de la mano de un protocolo de modelación matemática, que no es más que una serie finita de pasos ordenados, que enmarquen el proceso de modelación en una secuencia lógica, de acciones orientadas a la obtención de un resultado de calidad deseada (Domínguez, 2011). En las etapas a establecer se escoge el modelo, acorde a los tiempos estipulados para la ejecución de la tarea, ya que puede que ya este programado, si es comercial hay que evaluar el costo de las licencias y cuantos módulos y número de elementos son habilitados para el usuario ó si el mismo esté disponible a través de la Internet y sea un código abierto (Open Source) o de uso libre, pero con retenciones a la estructura del código. Si no existen códigos desarrollados, o los existentes no se ajustan al modelo, hay que plantear una etapa dispendiosa y de gran conocimiento físico y de programación y es la de la formulación, codificación y verificación numérica del código a desarrollar. Esta es la etapa más decisiva a la hora de seleccionar un modelo.
2. Dimensionalidad de la ejecución del modelo, que va acorde a lo descrito en las secciones anteriores, y lo define la complejidad del sistema hidráulico, el nivel de detalle y la información disponible, el tiempo establecido y el acceso a elementos computacionales idóneos para la tarea, ya que el aumento de dimensionalidad (1D, 2D y 3D), incrementará los costos de ejecución.

Página 206 de 306

3. Capacidad del modelo en determinar las variaciones temporales, es decir si permite análisis en flujo permanente o no permanente, ya este último permite ajustarse mejor a los comportamientos de ríos de montaña con pendientes y velocidades altas, recrear mejor los cambios de régimen, establecer mejor el comportamiento de para la delineación de las planicies de inundación en sistemas loticos, lenticos en sus planicies de inundación y estructuras de almacenamiento y atenuación de crecientes como embalses, debido a que el almacenamiento en dichos altera la forma y el caudal pico del hidrograma de crecientes a medida que el flujo pasa a través de él. Cabe mencionar que los modelos de uso libre, código abierto y comercial solucionan las mismas ecuaciones de gobierno, puesto que su diferencia va estar dada en la admisión de otros módulos, como por ejemplo el transporte de sedimentos, contaminantes, entre otros.
4. La Precisión y confiabilidad del modelo, tiene relación directa con el método numérico y la formulación matemática, es decir la habilidad de las ecuaciones discretizadas para definir aproximar correctamente el fenómeno, donde mayor complejidad no se traduce a mayor precisión. Cabe mencionar que la confiabilidad de un modelo no depende de este si no de los conocimientos del modelador, donde claro está que si dicho modelo tiene una gran acogida y casos exitosos de implementación permite dar un parte de seguridad del mismo.
5. Versatilidad de la plataforma computacional, referente a la facilidad que ofrece el paquete computacional para el ingreso de información a la hora de implementar un modelo. Esta parte operativa enfatiza en los niveles de proceso y post proceso en las labores de introducción de datos, operación de archivos y manejo de resultados. Normalmente algunos paquetes tienen módulos CAD simples para facilitar la implantación del dominio computacional bien sea por secciones topobatimétricos generando complemento con programas externos o implementado algoritmos de generación de malla que ayuden al usuario facilitando tareas.
6. Interfase gráfica o GUI (Graphical User Interface) de salida, son módulos acoplados al programa mismo o externos que permiten el análisis de la información resultante del proceso, como niveles de lámina de agua, velocidades, caudales, entre otros, a lo largo del dominio definido. Algunos integran Sistemas de información Geográficos simples (SIG), que entregan la información a paquetes más robustos para análisis más complejos

Los modelos de inundación pueden tener diferentes formas de clasificación, como las descritas, donde prevalece las diferencias en el tipo de malla, en el método y el modelo numérico de aproximación, en las posibilidades de conexión con otros modelos o la facilidad de conexión con herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) u otras, en la facilidad de uso o de aprendizaje, en la velocidad de cómputo, en las condiciones de contorno, en la cantidad y calidad de presentación de resultados, etc. En la Tabla 11.1, se presentan algunos programas y sus respectivas características para modelación hidráulica.

Como se ha descrito, los códigos anteriormente expuesto, se centran en resolver las ecuaciones de Saint Venant en una o dos dimensiones, e incluso algunos llegan a tres dimensiones en análisis multicapa que describen mejor la distribución de velocidades en el tramo, lo que indica que no hay una diferencia marcada en este tipo de paquetes computacionales, inclusive llevando los esquemas numéricos a alta resolución permitiendo tener modelos tanto estáticos como dinámicos; una particularidad está en que, sus esquemas están diseñados para que prácticamente siempre se obtenga una solución, incertidumbre que hay que minimizar a la hora de implementar estos modelos mediante análisis de sensibilidad de los parámetros tanto físicos como numéricos.

De igual forma los paquetes tanto comerciales como de uso libre, se centran en dar una interfase gráfica o GUI (Graphical User Interface) amigable con el usuario, siguiendo una secuencia lógica asumida de la Dinámica Computacional de Fluidos (CFD), que facilita la implantación del modelo mediante la incorporación de Sistemas Asistidos por Computadora, (CAD), que armonizan el medio de trabajo, además de tener la capacidad de leer diferentes formatos de entrada que se pueden traer de sistemas CAD o SIG más robustos tanto libres como comerciales, dando una posibilidad de reducción de tiempos de ejecución si se conoce la mecánica del proceso; todos los anteriores admiten algoritmos de mallado según el esquema numérico lo requiera facilitando la adecuación de elevaciones a los nodos de las mallas. En cuanto al post proceso las salidas gráficas son de interés puesto que permite visualizar los campos de resultados de las variables, mediante sistemas SIG, que pueden ser exportados y tabulados para posteriores análisis o calibraciones. Caso contrario ocurre con las herramientas de código abierto, las cuales tienen limitaciones gráficas tanto de entrada como de salida y no acoplan mallados dentro de sus módulos, si no es una limitante propiamente dicha, con el conocimiento experto adecuado en programación, ecuaciones de gobierno, métodos numéricos y optimización de mallados, permiten tener un control de los modelos desde su interior facilitando la calibración y adecuación de parámetros y módulos según la necesidad del objeto cognitivo.



**ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.**

AMBIENTE
Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático

En la Tabla 11.1, permite establecer que los códigos abierto requieren de un mayor conocimiento general y demandan una capacitación mayor, pero permiten ser modelos de caja blanca incrementando la certidumbre y la facilidad de identificar errores, muchas veces hay comunidades que ayudan a nuevos usuarios y expertos en dar soluciones puntuales. Los modelos de uso libre son modelos implementados con éxito alrededor del mundo y en casos específicos en los países donde se desarrollaron, sus esquemas numéricos se han desarrollado por años y son el acople de varios códigos a uno solo, traen consigo muchas veces literaturas y manuales básicos para su entendimiento, sin embargo, se desconoce en profundidad el planteamiento físico y numérico, convirtiéndolos en modelos de caja gris, normalmente a estos modelos se les aplica un análisis de sensibilidad para minimizar la incertidumbre. Estos modelos poseen grupos especializados que ofrecen cursos y, manuales muchas veces bajo un costo. Los modelos comerciales son los que mayor inversión tienen para el usuario ya que sus códigos son limitados por licencias las cuales suelen ser costosas y tiene algunas veces una limitante temporal, lo que obliga a estar renovando anualmente. Son modelos con una inercia de investigación amplia que acopla la misma estructura de los códigos de caja gris y blanca, con interfaces mucho más elaboradas y sencillas de manejar, son modelos con gran cantidad de módulos que abren la capacidad investigativa del usuario y que muchas veces acoplan un acompañamiento medio a los mismos; al no conocer la condiciones de operación del código desde el punto de vista físico y sobre todo numérico, los convierte en modelos de caja negra que operan según sus rangos e imposiciones.



GP-CER453497



CO-SC-CER453496



CO-SC-CER453496



CO-SA-CER366134

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

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



**ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.**
AMBIENTE

Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático

Tabla 11.1. Resumen de modelos para la simulación numérica de flujos en ríos

Modelo	Tipo de paquete	Régimen no permanente 1D	Régimen permanente 1D	Régimen no permanente 2D	Régimen permanente 2D	Enlace 1D+2D	Post proceso SIG	Modelación de estructuras Hidráulicas	Esquema numérico	Régimen variable para avenidas torrenciales	Tipo de mallado o acople geométrico
HEC-RAS	UL	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	DF/VF	NO	STB - NET
MIKE FLOOD	CM	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	DF	NO	ET
SOBEK	CM	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI - RP	DF	NO	ET
ISIS FLOW	CM	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	DF	NO	STB
MIKE 11	CM	SI	SI	NO	NO	NO	SI	SI	DF	NO	STB
MIKE 21	CM	S	SI	SI	SI	SI	SI	SI - RP	VF	SI	NET
ISIS PROFESSIONAL	CM	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	DF - VF	SI (2D)	NET
INFOWORKS	CM	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI - RP	DF - VF	SI (2D)	NET
TELEMAC	CA	NO	NO	SI	SI	NO	NO	SI - RP	EF	NO	NET
SMS RMA2	CM	SI	SI	SI	SI	NO	SI	NO	EF	NO	ETC
SMS HVEL 2D	CM	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	EF	NO	ETC
GUAD 2D	CM	NO	NO	SI	SI	NO	SI	NO	VF	SI	NET
IBER	UL	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI - RP	VF	SI (2D)	NET
TUFLOW	CM	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI - RP	EF	NO	ET
RIVER2D	UL	NO	NO	SI	SI	NO	SI	SI	EF	NO	NET
FLO-2D	CM	NO	NO	SI	SI	NO	SI	SI	VF	SI	NET
DELFT 3D	CA	NO	NO	SI	SI	NO	SI	SI	DF	NP	ETC
UL: USO LIBRE CM: CÓDIGO COMERCIAL CA: CÓDIGO ABIERTO				RP: MODULO DE ROMPIMIENTO DE PRESA DF: DIFERENCIAS FINITAS VF: VOLÚMENES FINITOS EL: ELEMENTOS FINITOS				STB: SECCIONES TOPOBATIMÉTRICAS ET: ELEMENTOS ESTRUCTURADOS (CUADRADO) NET: ELEMENTOS NO ESTRUCTURADOS (ADMITEN CUADRADOS Y TRIÁNGULOS EN ALGUNOS CASOS SON HÍBRIDOS) ETC : ELEMENTOS ESTRUCTURADOS (CUADRANGULAR)			

Fuente: Proyecto POT - grupo POT adecuado de (Bladé, 2009; Herrero y Isidro, 2009; CAR, 2010; Pena, 2011)

Página 210 de 306

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

Código Postal: 111071



GP-CER413481



CO-SC-CER413481



CO-SC-CER413481



CO-SA-CER381134

Certificado N° CO-SC-CER413481
Certificado N° CO-SA-CER381134
Certificado N° GP-CER413481

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

**BOGOTÁ
MEJOR
PARA TODOS**

En cuanto al número de módulos, los modelos hidráulicos, combinan diferentes análisis que toman por bases las ecuaciones de gobierno hidráulicas para dar su solución, tales casos son los módulos de transporte de contaminantes, transporte sólido de materiales sueltos y cohesivos, problemas de calidad de aguas, inclusión de cualquier tipo de estructuras, eutrofización, morfodinámica, socavación, estuarios, flujos costeros etc. Sin embargo, la mayoría de estos fenómenos son todavía muy desconocidos, incluso en casos sencillos, por lo que estos modelos comerciales utilizan ecuaciones aproximadas o extrapolan el uso de esquemas numéricos simples a casos generales, como es el caso de las estructuras hidráulicas.

Todos los modelos utilizan una serie de hipótesis y simplificaciones importantes de las cuales no se suele informar al usuario salvo los de código abierto, por lo que el gran abanico de soluciones que se pueden tener debe ser utilizados con precaución, ya que sumado a eso el número de parámetros que dichos programas precisan hace que, a menudo, se recurra a la opción por defecto en el programa, donde hay más aprovechamiento cuando hay información fiable dentro de manuales e investigaciones.

Dado los objetivos del estudio, la información requerida y los tiempos definidos para su ejecución, se estableció que, dentro de la metodología, se incorporara un programa que solucione las ecuaciones de Saint Venant en dos dimensiones, ya que el estudio va encaminado en describir el comportamiento de las posibles inundaciones a lo largo de los principales cursos de agua del Distrito Capital, en la cuenca media del río Bogotá, con el fin de establecer la amenaza por inundación, según lo establece el Decreto Nacional 1807 de 2014. Por lo expuesto y dado que los cauces Tunjuelo, Fucha, Salitre, Torca y Bogotá tiene comportamientos complejos al estar integrados en cuencas urbanas, tener presente estructuras hidráulicas de encausamiento, conexiones viales y peatonales, derivaciones, retención del flujo (embalses) y la interacción de sistemas loticos y lenticos, con sinuosidades considerables en varios tramos de los ríos en especial el río Bogotá y Tunjuelo, hacen necesario el uso de herramientas más robustas en pro de un análisis de riesgos. todos solucionan las mismas ecuaciones de gobierno y admiten soluciones estáticas y dinámicas en sus módulos hidráulicos, lo que no diferencia de forma consisten su selección. por otro lado, si vamos al criterio hace referencia al carácter público del modelo es decir, si es necesario adquirir o no una licencia comercial, y dependerá de los recursos y de la necesidad de una asistencia constante por parte del desarrollador que puede facilitar en cierta medida la implementación del modelo, por otro lado, se paga muchas veces la experiencia y recursos dedicados para la generación del modelo, pero si vamos del lado de los modelos de uso libre y código abierto a pesar de que la mayoría de ellos no posee un soporte técnico directo por parte del desarrollador, son códigos con años de desarrollo que han sido implementados mediante las mismas bases físicas y numéricas y tiene el mismo potencial, los que permite solucionar los problemas de estudios, sin la necesidad de invertir en su adquisición, en este caso se considera muy importante y se dará mayor valor a los modelos que sean de uso libre o código abierto. De lo anterior, se filtró a 5 programas entre código abierto y uso libre que son HEC-RAS, IBER, RIVER2D, TELEMAC y DELD3D.

Página 211 de 306

Si nos centramos en la interface gráfica GUI, de pre y post procesamiento de los datos, nos damos cuenta de que dicha configuración agiliza el trabajo del usuario con el modelo y permite dedicar más tiempo al análisis de los mismo teniendo presente los tiempos impuestos para el análisis, lo cual daría un mayor valoración a los modelos que acoplen este proceso, para lo cual los modelos HEC – RAS, IBER, RIVER2D y Delf 3D poseen un GUI desarrollado para el procesamiento y post procesamiento, cada uno con sus ventajas, donde los dos primeros modelos tiene ventaja al acoplar un sistema CAD o SIG simple pero intuitivo que es compatible con shape file, *.csv, IBER tiene mayor gama de interacción con diferentes archivos .dxf, ascii, kml y solid, además de *.txt (x, y, a), *.jpg, *.png, HEC es más limitado en este sentido y depende de su interacción con paquetes SIG externos para una adecuación rápida de su dominio, aunque al acoplar los dominios 2D depende de sí mismo. Paralelamente, Delf 3D y RIVER2D posee un GUI completo compatible con varios archivos shape file, *.csv y *.txt, *.jpg, *.png, pero si principal limitación es que para generar las elevaciones parte de archivos de nube de puntos X, Y, Z del plano topográfico para hacer la interpolación interna por medio del programa del terreno lo aumenta la incertidumbre y obliga a generar archivos extensos para una mejor descripción del terreno. IBER y HEC- RAS lo hacen directamente del Modelo de Elevación Digital. Por último, los módulos de salida son semejantes en cuanto a la utilidad e interacción con sistemas SIG robustos.

Los criterios que tienen que ver con la actualización y documentación, presentan una igualdad ya que todos tienen plataformas de educación, manuales técnicos, documentos investigativos que fundamentan los conceptos físico-numéricos y en general, los modelos open source y libres poseen un alto grado de actualización, ya que existen muchos usuarios y son de uso investigativos por las instituciones desarrolladoras; por lo que ningún modelo es dominante en este criterio.

Si evaluamos la versatilidad que un modelo a la hora de acoplarse a la geometría de evaluación donde las mallas no estructuradas tiene ventajas a la hora de definir las formas de los cauces sobre todo cuando las sinuosidades son altas, tenido prevalencia sobre las mallas curvilíneas las cuales genera problemas acople hacia las fronteras y obliga hacer discretizaciones fuertes en zonas no deseadas, Dejando a Delf3D con una cierta desventaja dado su esquema numérico de diferencias finitas, donde suelen tener una precisión menor comparado con los volúmenes finitos. River2D solo acopla mallas triangulares, mientras que HEC-RAS y IBER admiten estructuradas y triangulares, siendo IBER el que permite un acople híbrido según la necesidad.

Si la discretización la haríamos hacia la vertical de los modelos hidrodinámicos TELEMAR Y DELF 3D tiene un dominio evidente al ser modelos multicapa cuasi-3D que se ajustan a coordenadas z, σ -sigma, híbridas (z y σ -sigma) y isopícnicas.

Consecuentemente, estos modelos pueden tener presente zonas de recirculación asumiendo ecuaciones de cierre Como lo menciona (Malalasakera & Versteeg, 1995); (Malalasakera & Versteeg, 2007), un modelo de turbulencia es un procedimiento que se

Página 212 de 306

utiliza para cerrar el sistema de ecuaciones del flujo medio, donde TELEMAT, DELF 3D Y IBER, acoplan este comportamiento.

Por otra parte, IBER, DELF 3D, TELEMAT Y HEC-RAS, son versátiles en la cantidad de módulos extra para el cálculo ya que admiten el transporte de sedimentos, contaminantes, flujos de estuarios y permiten El módulo no hidrostático es de vital importancia cuando se busca estudiar el comportamiento de ondas internas en un lago o embalse ya que se debe tener en cuenta los efectos no-hidrostáticos (Hodges et al., 2000). La ventaja radica en la admisión de módulos de cálculo para el análisis de rompimientos de dique como lo hace TELEMAT y IBER, además que este último admite módulos distribuidos de hidrología a partir de un raster de precipitación y hietogramas y módulo de análisis de riesgo mediante la metodología española. Lo anterior permite establecer que dicho modulo se ajusta para los requerimientos actuales y futuros para la metodología a establecer por parte del IDIGER.

11.3 CÓDIGO COMPUTACIONAL

El código numérico de uso libre propuesto para la metodología se denomina IBER en su versión 2.3.2, cuya principal característica se centra en la combinación de un módulo hidrodinámico, un módulo de turbulencia y un módulo de transporte de sedimentos, basado en la discretización temporal y espacial de las ecuaciones de cantidad de movimiento y conservación de la masa, conocidas como las ecuaciones de aguas someras y ecuación de transporte, con base en el método de discretización correspondiente a los volúmenes finitos, integrando esquemas numéricos estables y robustos, adecuados para flujos discontinuos como flujos torrenciales y regímenes irregulares. Al módulo de cálculo se le ha adaptado una interfaz por medio del programa de preproceso y posproceso GiD en su versión 11 desarrollado por CIMNE.

Lo anterior, da como resultado un modelo numérico bidimensional para la simulación de flujos ambientales, incorporando el transporte de sedimentos resolviendo las ecuaciones de transporte por carga de fondo y por carga en suspensión, permitiendo tener en cuenta los efectos de sedimentación y erosión mediante la ecuación de Exner, calculando el caudal sólido en función de la tensión de fondo. El código fue desarrollado por el Grupo de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente (GEAMA) perteneciente a la Universidad de Coruña y el instituto FLUMEN de la Universidad Politécnica de Catalunya y el Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX.

11.3.1 Método de los volúmenes finitos

Los volúmenes finitos son un método matemático utilizado para discretizar Ecuaciones Diferenciales Parciales (EDP), que en pocas palabras significa llevar de una EDP a una ecuación algebraica, con el fin de hacer uso de la computación para su solución, a partir de algoritmos. Hay que tener en cuenta que los volúmenes finitos son un método que solo aplica para la discretización de la variación espacial de las EDP, puntualmente los términos advectivos de primer orden y los términos difusivos de segundo orden.

Página 213 de 306

El método de los volúmenes finitos está basado en el método de los residuos ponderados, el cual se puede expresar, a partir de las siguientes ecuaciones.

$$\int_{\Omega} R W d\Omega = 0$$

Donde:

R Residual de la EDP

W Función de ponderación, que para el caso de volúmenes finitos es igual a 1

Se puede escribir la ecuación en forma discreta de la siguiente forma:

$$C^k = \sum_{i=1}^{NN} C_i^k \phi_i(x)$$

Donde:

C^k : Variable de las EDP

$\phi_i(x)$: Función base, que para volúmenes finitos es igual a 1

$\sum_{i=1}^{NN}$: Sumatoria de i igual a 1 hasta el número de nodos que tenga la malla

k : Superíndice que representa el tiempo

i : Subíndice que representa el espacio

11.3.2 Ecuaciones de gobierno modulo hidrodinámico

1. Las ecuaciones de aguas someras parten de las ecuaciones tridimensionales de cantidad de movimiento y continuidad para fluidos Newtonianos e incompresibles. Sin embargo, se consideran las siguientes suposiciones:

- *EL fluido debe ser homogéneo en su profundidad H*
- *Las velocidades horizontales son mucho mayores a las verticales*
- *La distribución de presiones es hidrostática*
- *Son mucho mayores las fuerzas inerciales que las fuerzas viscosas*

2. Las ecuaciones de aguas someras forman un sistema hiperbólico de 3 ecuaciones diferenciales parciales de transporte con 3 incógnitas, estando definidas sobre un dominio espacial bidimensional (Kundu & Cohen, 2008).

- *Conservación de la masa*

$$\frac{\partial n}{\partial t} + \frac{\partial((H+n)v)}{\partial x} + \frac{\partial((H+n)w)}{\partial y} = 0$$

- *Cantidad de movimiento*

$$\begin{aligned} \frac{\partial(H)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(Hv^2 + g\frac{H^2}{2}) + \frac{\partial}{\partial y}(Hvw) &= -gH\frac{\partial Z_b}{\partial x} + S_x \\ \frac{\partial(H)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(Hvw) + \frac{\partial}{\partial y}(Hw^2 + g\frac{H^2}{2}) &= -gH\frac{\partial Z_b}{\partial y} + S_y \end{aligned}$$

Donde:

H: Profundidad media del flujo (m)

v: Velocidad del flujo en dirección x (m/s)

w: Velocidad del flujo en dirección y (m/s)

S_x: Pendiente en la dirección y (m/m)

S_y: Pendiente en la dirección x (m/m)

n: Variación de la superficie libre del agua (m)

11.4 CONDICIONES DE MODELACIÓN

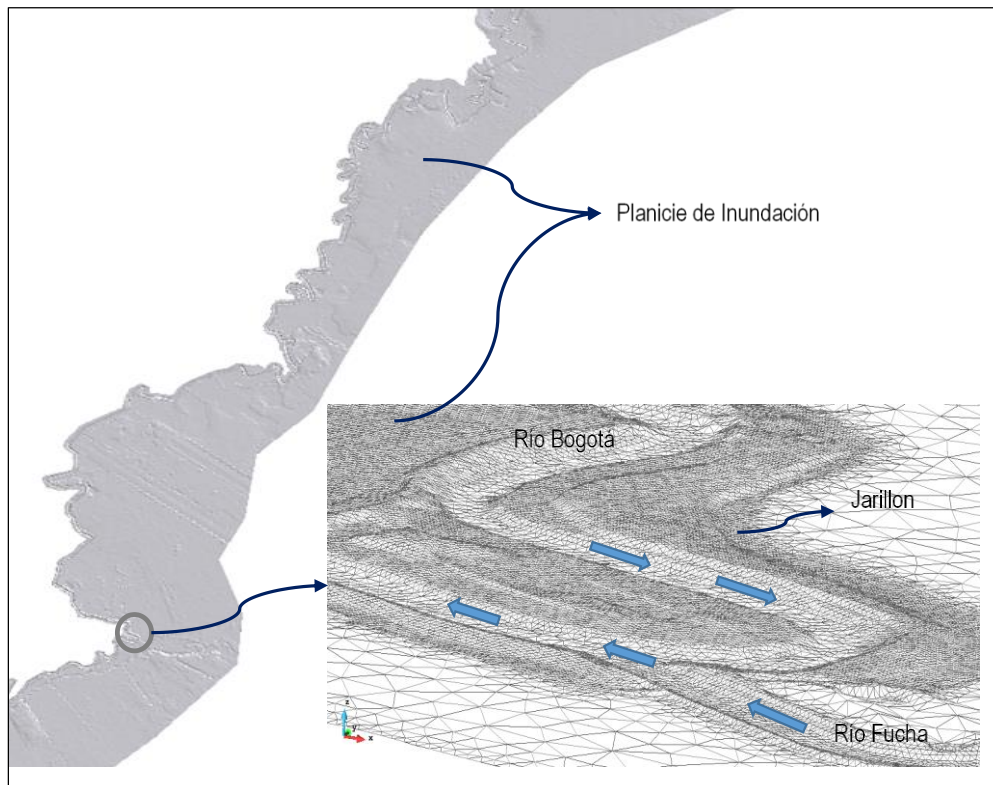
Las condiciones de modelación se dividen en la geometría de diseño, la definición de las condiciones de frontera y las condiciones iniciales.

11.4.1 Definición Dominio de estudio

El dominio de estudio hace referencia al área establecida para generar el análisis de la Amenaza por Inundación por desbordamiento, cuya geometría fue generada mediante el acople del topografía existente en el DEM de metro por metro suministrado por la EAB y la topobatimetría de obra record y diseño realizada por la CAR en el proyecto de adecuación hidráulica. Para la discretización del dominio del modelo, se generó una malla no estructurada (triángulos regulares), dando mayor resolución a las zonas del “cauce” y las estructuras de la adecuación hidráulica y aumentando los tamaños de los mismos hacia las planicies de inundación en la margen izquierdo aledañas al río Bogotá sobre el Distrito Capital. Por otra parte, la desembocadura de los cauces afluentes (río Tunjuelo, Fucha, Salitre – Juan Amarillo y Torca) se adecuaron mediante información topobatimetría

suministrada por la EAB en los diferentes proyectos ejecutados en estos cuerpos de agua aplicando la discretización mencionada.

Figura 11.1. Dominio Modelación río Bogotá



11.4.2 Condiciones de frontera:

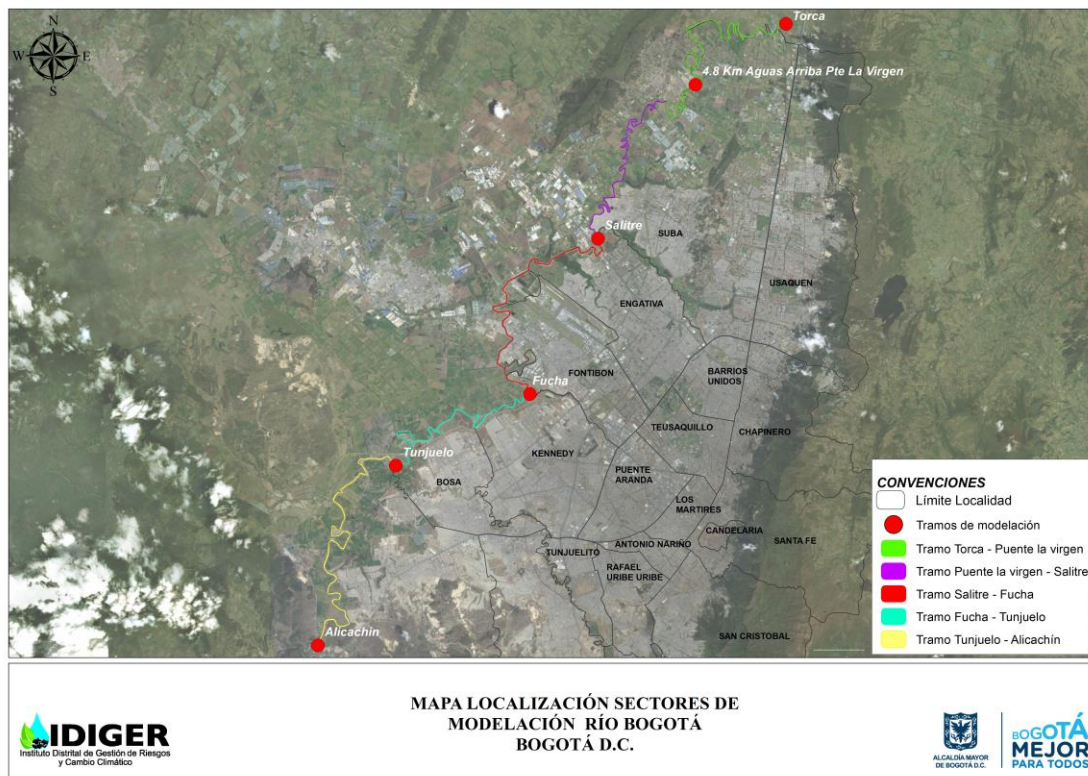
Las condiciones de frontera de entrada para la modelación del río Bogotá corresponden a los caudales aguas arriba del río (inicio de la modelación) y en cada uno de los afluentes principales, calculados en el numeral 9 (Análisis Hidrológico). Las condiciones de frontera de salida son los niveles de agua reportados en los modelos hidráulicos del diseño de la Adecuación del río Bogotá de acuerdo con el “ESTUDIO HIDRÁULICO PARA EL DISEÑO DE LAS OBRAS PARA LA PROTECCIÓN CONTRA LAS INUNDACIONES DEL RÍO BOGOTÁ EN EL SECTOR PUENTE LA VIRGEN – ALICACHÍN” (Monsalve Sáenz, 2010)

Las modelaciones hidráulicas se trabajaron con una condición de flujo permanente, teniendo en cuenta los antecedentes presentados en los años 2010 y 2011 donde el río

Bogotá presentó niveles altos constantes durante casi 2 meses, generando un escenario crítico para las condiciones hidráulicas del río.

Para optimizar los tiempos computacionales en la modelación hidrodinámica, se dividió el río en cuatro sectores de modelación como se presenta en la Figura 11.2. Por tanto, cada sector modelado cuenta con sus respectivas condiciones de frontera de entrada y salida, de acuerdo con el escenario modelado.

Figura 11.2. Localización Sectores de modelación río Bogotá



En la **Figura 11.7**, se puede apreciar en mayor detalle cada uno de los sectores de modelación analizados.

Figura 11.3. Desembocadura río Torca – Puente La Virgen

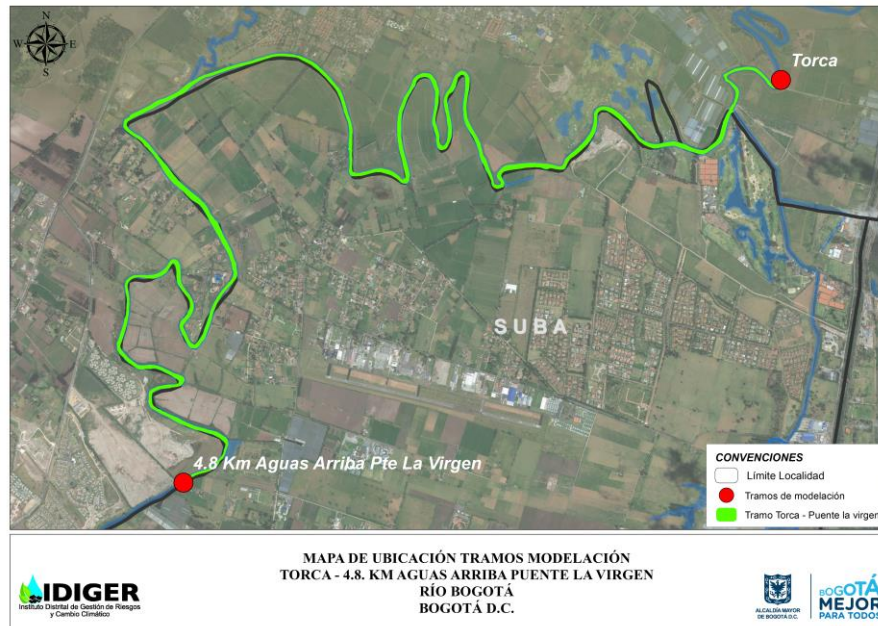


Figura 11.4. Puente La Virgen – Desembocadura río Salitre–Juan Amarillo

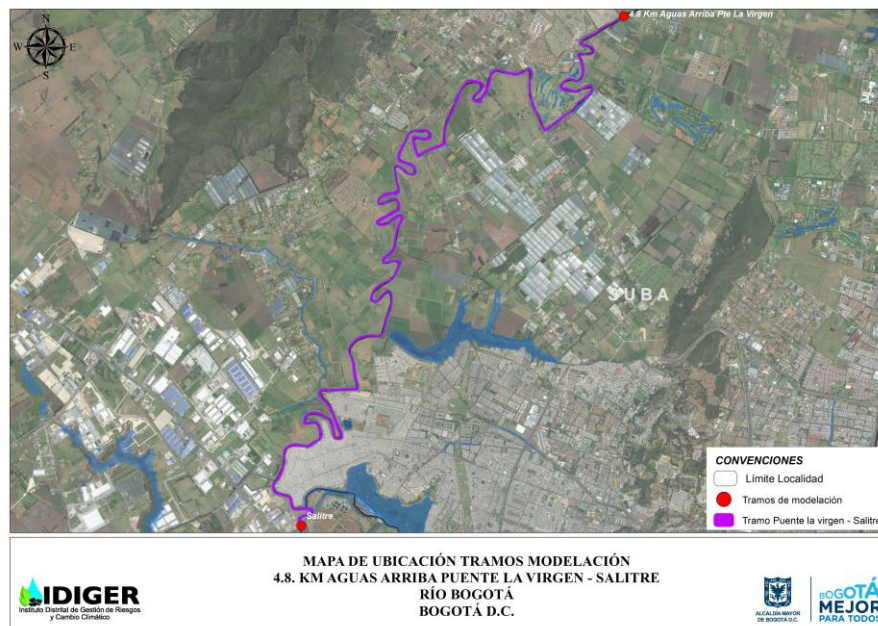


Figura 11.5. Desembocadura río Salitre-Juan Amarillo – Desembocadura río Fucha



Figura 11.6. Desembocadura río Fucha – Desembocadura río Tunjuelo

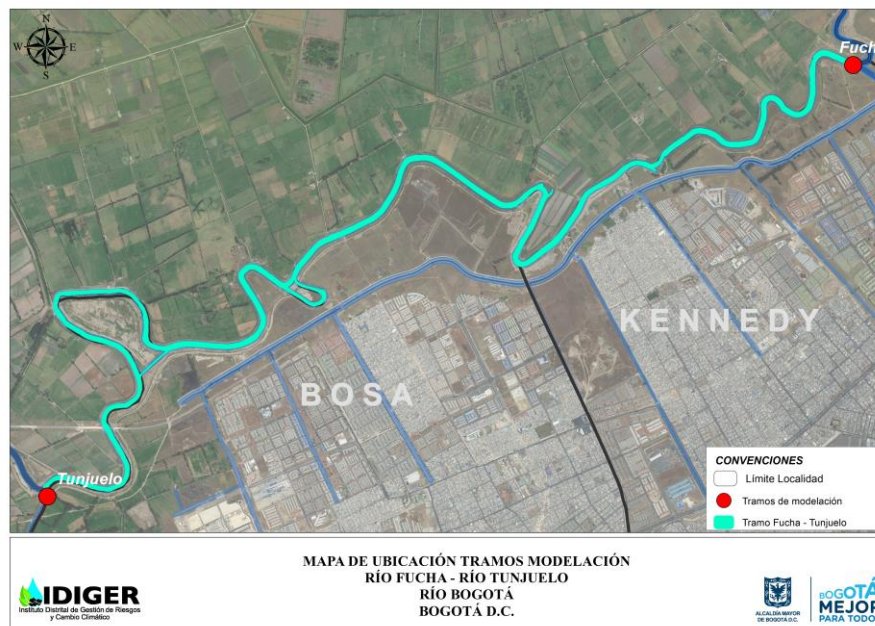
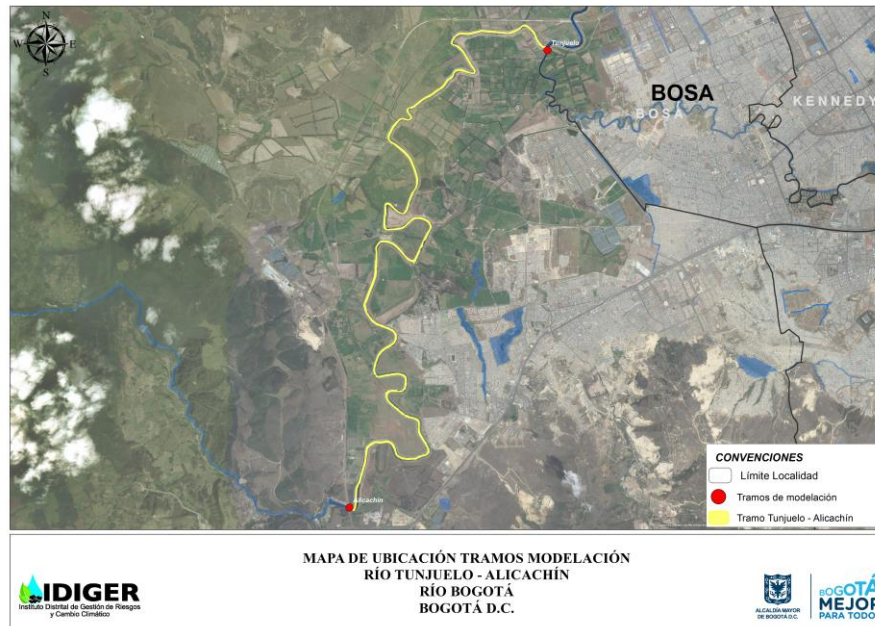


Figura 11.7. Desembocadura río Tunjuelo – Alicachín



11.4.3 Coeficientes de rugosidad

Con base en las características obtenidas de estudios anteriores y las observaciones realizadas en campo, se establecen los siguientes coeficientes de rugosidad para el río Bogotá (Tabla 11.2)

Tabla 11.2. Coeficientes de Rugosidad

	Valores de Rugosidad
Canal Principal	0.035
Jarillón	0.050
Planicies de inundación	0.065

11.4.4 Escenarios de modelación del río Bogotá

Con el fin de realizar la evaluación de la Amenaza por Inundación por desbordamiento del río Bogotá, fue necesario realizar varios escenarios de modelación hidráulica, a partir de los caudales obtenidos en el estudio hidrológico para diferentes períodos de retorno en el río Bogotá y sus afluentes (10, 50 y 100 años) y que en resumen se presentan en la Tabla 11.3.

Tabla 11.3. Caudales pico para TR 10, 50 y 100

CUERPO DE AGUA	PERIODOS DE RETORNO		
	10	50	100
Río Bogotá	50	65.63	80.69
Río Torca	33.7	64.4	83
Río Salitre - Juan Amarillo	20	95.5	120.6
Río Fucha	44	123.3	155.1
Río Tunjuelo	54.6	126.3	190.8

Cabe mencionar que se realizaron escenarios para el río Bogotá teniendo en cuenta las entradas de sus afluentes; y adicionalmente se desarrollaron escenarios de modelación para cada afluente (Torca, Salitre-Juan Amarillo, Fucha y Tunjuelo) con una condición de salida establecida por el río Bogotá para un periodo de 100 años según “ESTUDIO HIDRÁULICO PARA EL DISEÑO DE LAS OBRAS PARA LA PROTECCIÓN CONTRA LAS INUNDACIONES DEL RÍO BOGOTÁ EN EL SECTOR PUENTE LA VIRGEN – ALICACHÍN” (Monsalve Sáenz, 2010)”

11.4.4.1 Escenarios Afluentes

- **Escenario 1:**

Las condiciones de frontera de entrada para cada afluente se establecieron acorde a los caudales con período de retorno de 100 años (Tabla 11.3.) , y como frontera de salida en cada uno se tomó el nivel en el río Bogotá correspondiente a una creciente de 100 años de acuerdo con el “ESTUDIO HIDRÁULICO PARA EL DISEÑO DE LAS OBRAS PARA LA PROTECCIÓN CONTRA LAS INUNDACIONES DEL RÍO BOGOTÁ EN EL SECTOR PUENTE LA VIRGEN – ALICACHÍN” (Monsalve Sáenz, 2010)

- **Escenario 2:**

Las condiciones de frontera de entrada para cada afluente se establecieron acorde a los caudales con periodo de retorno de 50 años (Tabla 11.3.), y como frontera de salida en cada uno se tomó el nivel en el río Bogotá correspondiente a una creciente de 100 años de acuerdo con el “ESTUDIO HIDRÁULICO PARA EL DISEÑO DE LAS OBRAS PARA LA PROTECCIÓN CONTRA LAS INUNDACIONES DEL RÍO BOGOTÁ EN EL SECTOR PUENTE LA VIRGEN – ALICACHÍN” (Monsalve Sáenz, 2010)

- **Escenario 3:**

Las condiciones de frontera de entrada para cada afluente se establecieron acorde a los caudales con periodo de retorno de 10 años (Tabla 11.3.), y como frontera de salida en cada uno se tomó el nivel en el río Bogotá correspondiente a una creciente de 100 años de acuerdo con el “ESTUDIO HIDRÁULICO PARA EL DISEÑO DE LAS OBRAS PARA LA PROTECCIÓN CONTRA LAS INUNDACIONES DEL RÍO BOGOTÁ EN EL SECTOR PUENTE LA VIRGEN – ALICACHÍN” (Monsalve Sáenz, 2010)

11.4.4.2 Escenarios para el río Bogotá

Para los escenarios 1, 2 y 3, en la condición de entrada del río Bogotá, se estableció un valor de caudal que acopla los caudales que discurren por el río Torca y por la cuenca alta del río Bogotá de 80.69 m³/s

- **Escenario 1:**

Las condiciones de frontera de entrada para el río Bogotá y sus afluentes se definieron con un periodo de retorno de 100 años (Tabla 11.3.), como condición de frontera de salida, se tomó el valor máximo de rebose de las compuertas de Alicachín que corresponde a la cota 2539.57m.s.n.m como se referencia en el “ESTUDIO HIDRÁULICO PARA EL DISEÑO DE LAS OBRAS PARA LA PROTECCIÓN CONTRA LAS INUNDACIONES DEL RÍO BOGOTÁ EN EL SECTOR PUENTE LA VIRGEN – ALICACHÍN” (Monsalve Sáenz, 2010)”.

- **Escenario 2:**

Las condiciones de frontera de entrada para el río Bogotá y el río Torca corresponden al caudal de un periodo de retorno de 100 años (Tabla 11.3.) y para los demás afluentes se definieron los caudales de un periodo de retorno de 50 años. Como condición de frontera de salida, se tomó el valor máximo de rebose de las compuertas de Alicachín que corresponde a la cota 2539.57 m.s.n.m como se referencia en el “ESTUDIO HIDRÁULICO PARA EL DISEÑO DE LAS OBRAS PARA LA PROTECCIÓN CONTRA LAS INUNDACIONES DEL RÍO BOGOTÁ EN EL SECTOR PUENTE LA VIRGEN – ALICACHÍN” (Monsalve Sáenz, 2010)”.

- **Escenario 3:**

Las condiciones de frontera de entrada para el río Bogotá y el río Torca corresponden al caudal de un periodo de retorno de 100 años (Tabla 11.3.) y para los demás afluentes se definieron los caudales de un periodo de retorno de 10 años. (Tabla 11.3.) Como condición de frontera de salida, se tomó el valor máximo de rebose de las compuertas de Alicachín que corresponde a la cota 2539.57m.s.n.m como se referencia en el “ESTUDIO HIDRÁULICO PARA EL DISEÑO DE LAS OBRAS PARA LA PROTECCIÓN CONTRA LAS INUNDACIONES DEL RÍO BOGOTÁ EN EL SECTOR PUENTE LA VIRGEN – ALICACHÍN” (Monsalve Sáenz, 2010)”.

- **Escenario 4:**

Para optimizar los tiempos computacionales de la modelación hidrodinámica, se dividió el río en cuatro tramos de modelación como se muestra en la Tabla 11.4 y se presenta en la Figura 11.8. Por tanto, las condiciones de frontera de entrada para cada tramo del río Bogotá corresponden a los caudales máximos registrados de acuerdo con la Tabla 10.10, teniendo en cuenta cada uno de sus afluentes. Asimismo, las condiciones de salida de cada tramo corresponden a los niveles en el río Bogotá para una creciente de 100 años de acuerdo con el “ESTUDIO HIDRÁULICO PARA EL DISEÑO DE LAS OBRAS PARA

LA PROTECCIÓN CONTRA LAS INUNDACIONES DEL RÍO BOGOTÁ EN EL SECTOR PUENTE LA VIRGEN – ALICACHÍN” (Monsalve Sáenz, 2010).

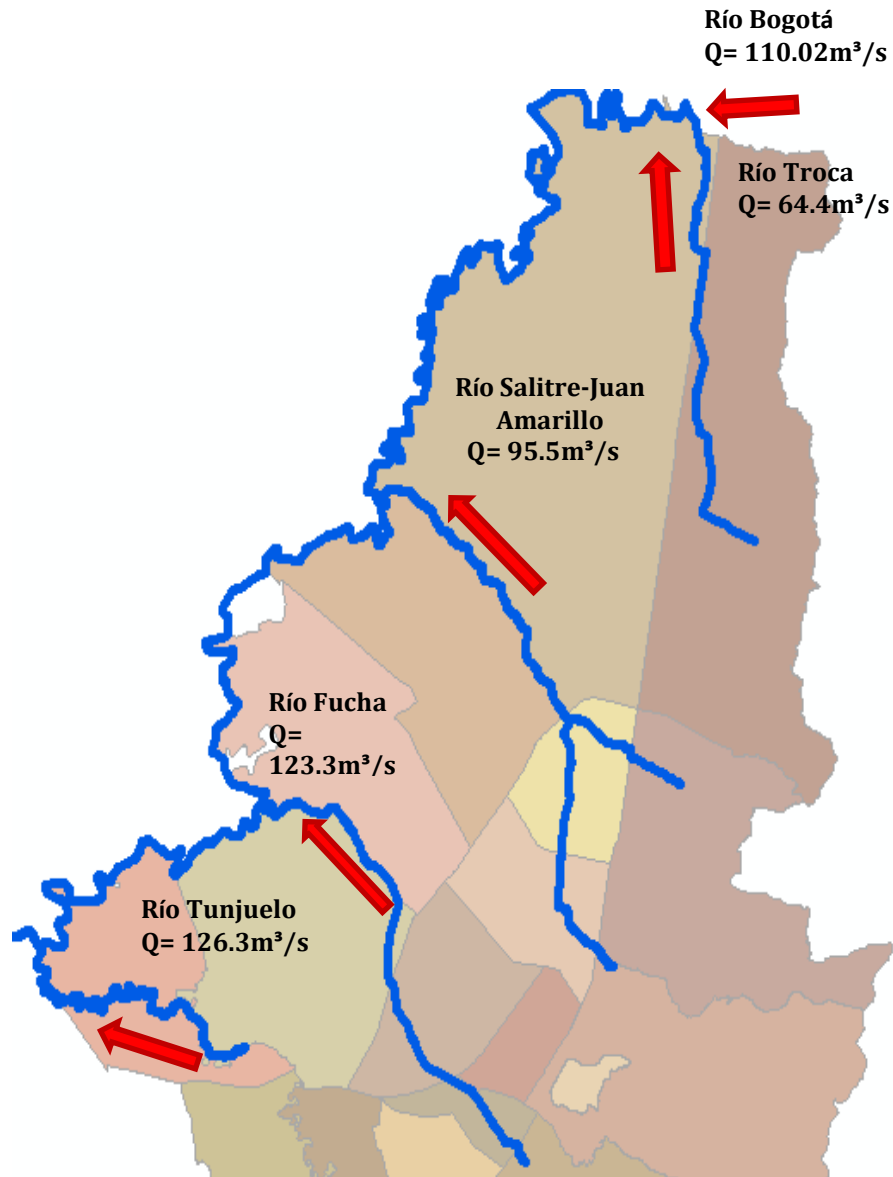
- **Escenario 5: Escenario seleccionado para los análisis de Amenaza por Inundación por desbordamiento**

Al igual que el escenario anterior la modelación se realiza en cuatro tramos, donde la condición de frontera de entrada para el río Bogotá corresponde a una creciente con un caudal superior a un período de retorno de 100 años obtenido a partir de los caudales máximos registrados (Ver Tabla 10.10). En cuanto a los afluentes la condición de entrada se define acorde a los caudales presentados para un periodo de retorno de 50 años. Asimismo, las condiciones de salida de cada tramo corresponden a los niveles en el río Bogotá para una creciente de 100 años de acuerdo con el “ESTUDIO HIDRÁULICO PARA EL DISEÑO DE LAS OBRAS PARA LA PROTECCIÓN CONTRA LAS INUNDACIONES DEL RÍO BOGOTÁ EN EL SECTOR PUENTE LA VIRGEN – ALICACHÍN” (Monsalve Sáenz, 2010).

Teniendo en cuenta los escenarios anteriormente descritos y los resultados obtenidos para cada uno de ellos, se estableció como escenario de análisis de Amenaza por Inundación por desbordamiento el escenario 5 del río Bogotá. Este escenario considera lo establecido en el Artículo 114 del Plan de Ordenamiento Territorial (Decreto 190 de 2004) donde se establece que **“Medidas estructurales para mitigar el riesgo por desbordamiento. Con el objeto de proteger las zonas aledañas y controlar las crecientes para un período de retorno de cien años se proyectan las obras de construcción de jarillones y dragado del cauce del río Bogotá en el tramo del río Bogotá entre Alicachín y el humedal de La Conejera...”**, asimismo, partiendo que el escenario del río Bogotá debe considerar que corresponda a un período de retorno de 100 años, el escenario escogido refleja caudales superiores a los caudales máximos registrados e igualmente a las reportados en la primera temporada invernal del año 2017, en la cual la EAB – ESP reportó caudales hasta de 230 m³/s en Alicachín y caudales de periodos de retorno de 50 años aproximadamente en algunos afluentes del río Bogotá, por lo que se considera que el escenario seleccionado es un escenario adecuado dado que tiene en cuenta tanto los escenarios probables en términos de períodos de retorno como la información de registros históricos y es riguroso ya que los caudales analizados en el mismo son caudales superiores a los definidos en el modelo utilizado para el diseño de la adecuación hidráulica realizada por la CAR.

Adicionalmente, en la Figura 11.8 y en la Tabla 11.4 se describe detalladamente el escenario de modelación elegido.

*Figura 11.8. Escenario elegido para análisis de Amenaza por Inundación por desbordamiento.
Escenario 5 del río Bogotá.*



*Tabla 11.4. Escenario elegido para análisis de Amenaza por Inundación por desbordamiento.
Escenario 5 del río Bogotá.*

Número	Sector	Condición de entrada	Condición de salida
1	Desembocadura río Torca – Puente La Virgen	Río Bogotá: $Q = 110.02 \text{ m}^3/\text{s}$ - Desembocadura río Torca: $Q = 64.4 \text{ m}^3/\text{s}$	Cota de la Lámina de agua: 2543.42 m.s.n.m.
2	Puente La Virgen – Desembocadura río Salitre-Juan Amarillo	Río Bogotá: $Q = 174.42 \text{ m}^3/\text{s}$ - Desembocadura río Salitre-Juan Amarillo: $Q = 95.5 \text{ m}^3/\text{s}$	Cota de la Lámina de agua: 2543.0 m.s.n.m.
3	Desembocadura río Salitre–Juan Amarillo Desembocadura río Fucha	Río Bogotá: $Q = 269.92 \text{ m}^3/\text{s}$ Desembocadura río Fucha: $Q = 123.3 \text{ m}^3/\text{s}$	Cota de la Lámina de agua: 2542.0 m.s.n.m.
4	Desembocadura río Fucha – Desembocadura río Tunjuelo	Río Bogotá: $Q = 393.22 \text{ m}^3/\text{s}$ Desembocadura río Tunjuelo: $Q = 126.3 \text{ m}^3/\text{s}$	Cota de la Lámina de agua: 2541.55 m.s.n.m.
5	Desembocadura río Tunjuelo – Alicachín	Río Bogotá: $Q = 519.52 \text{ m}^3/\text{s}$	Cota compuerta Alicachín: 2539.57 m.s.n.m.

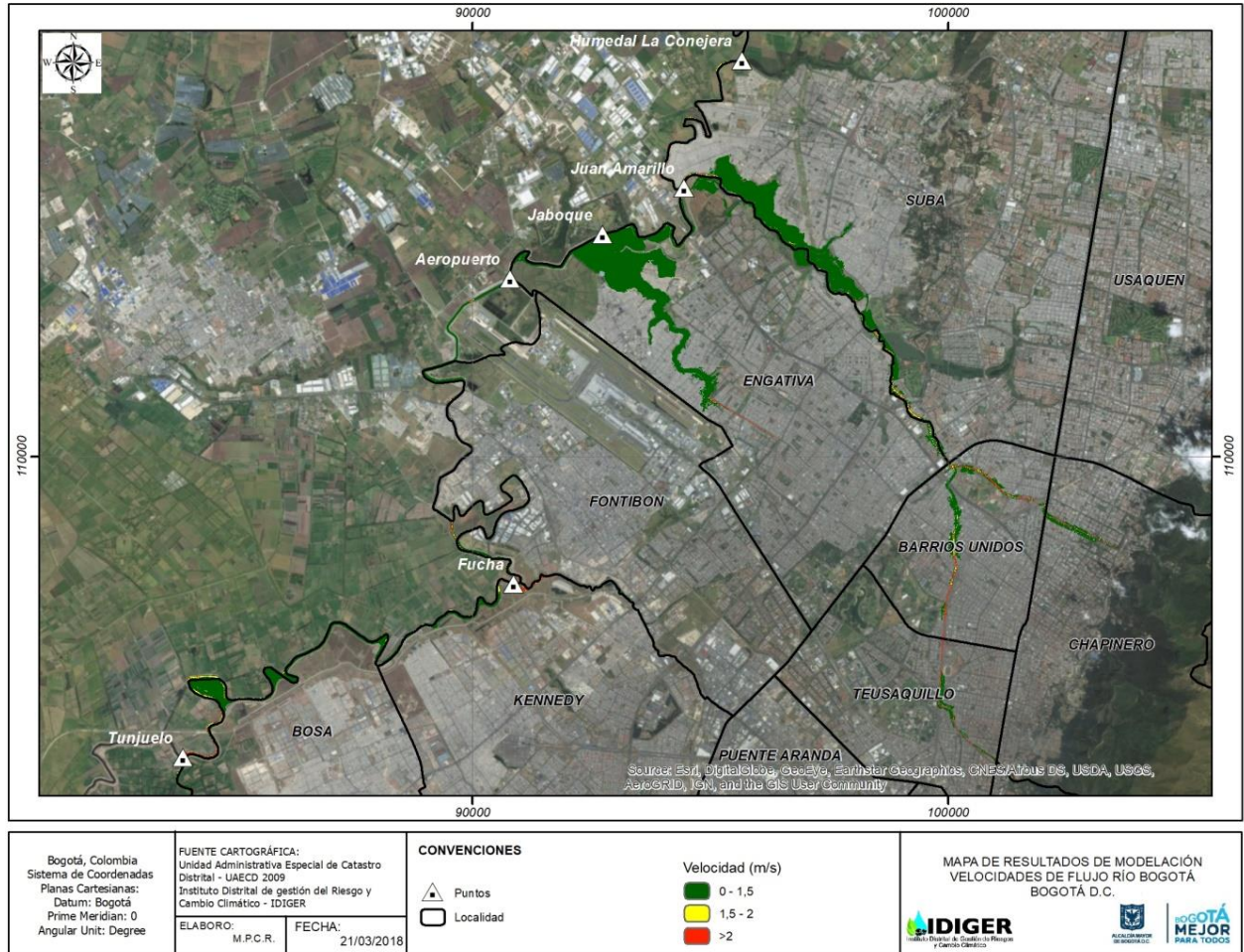


ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
AMBIENTE
Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático

7.1.1 Resultados de modelación

Se obtuvieron como resultados de modelación los mapas de velocidades y láminas de agua (ver Figura 11.9 y Figura 11.10) para las condiciones antes mencionadas.

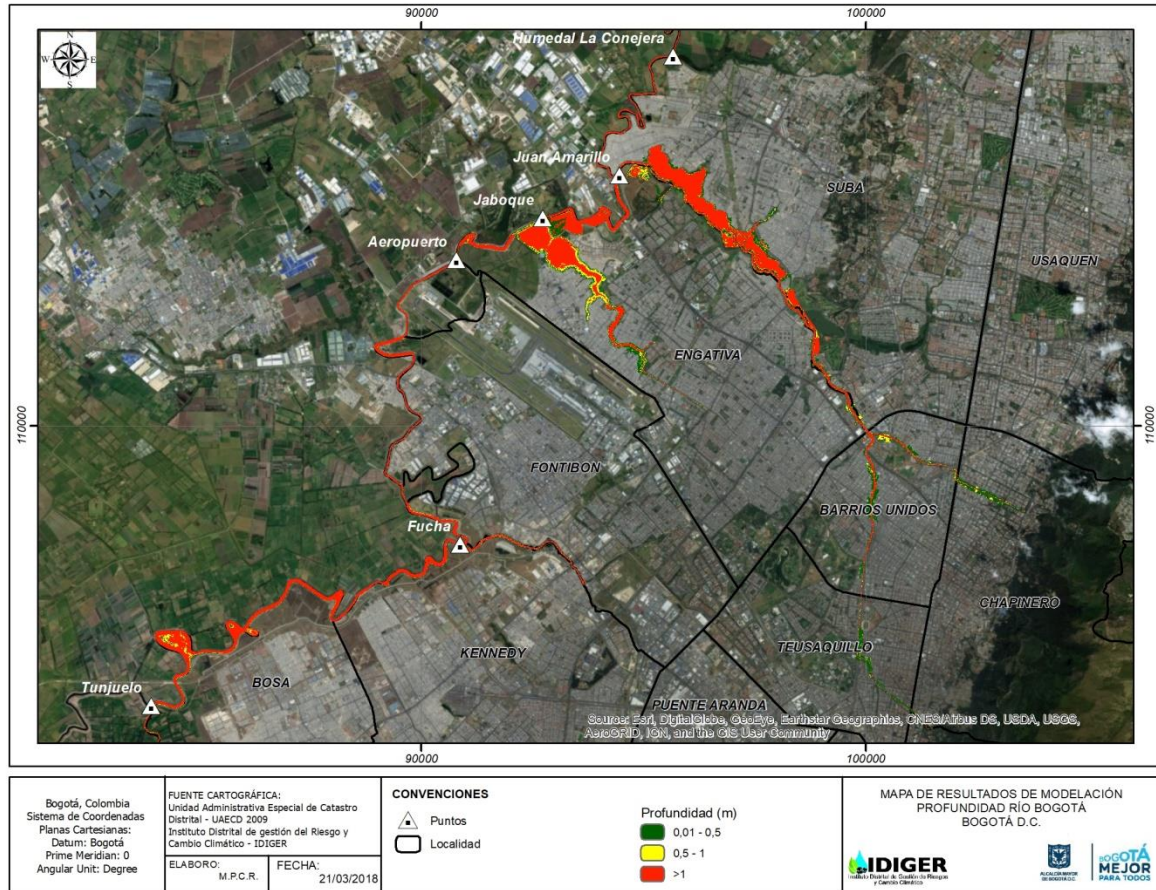
Figura 11.9. Resultados de modelación río Bogotá – Velocidades de Flujo.





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

Figura 11.10. Resultados de modelación río Bogotá – Láminas de Agua.



De las Figura 11.11 hasta la Figura 11.15 se presentan los ráster de resultados de velocidades y láminas de agua obtenidos de los tramos modelados.



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

Figura 11.11.. Resultados de modelación Tramo Humedal de la Conejera – Desembocadura río Salitre-
Juan Amarillo

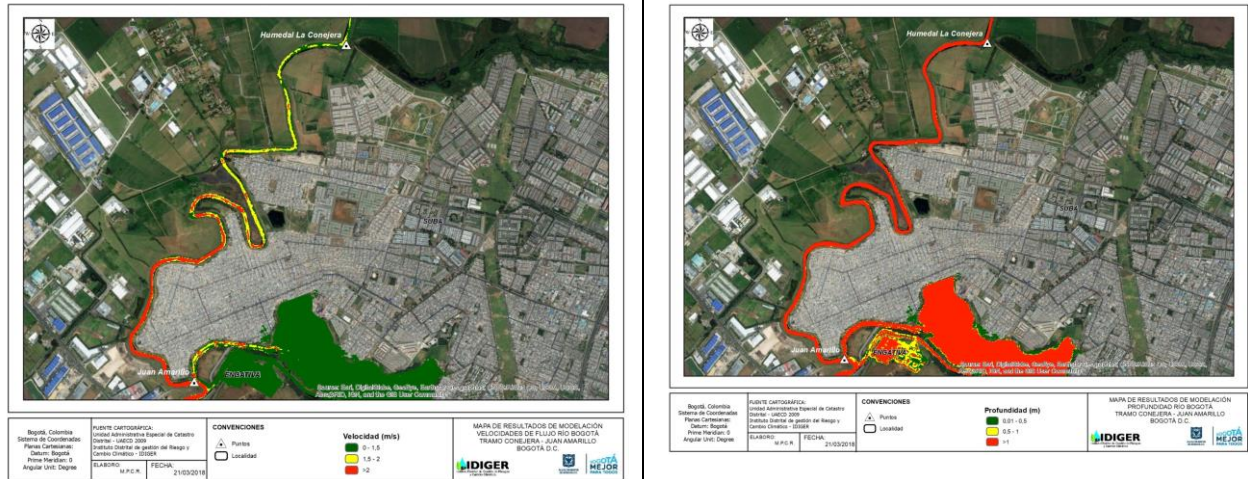
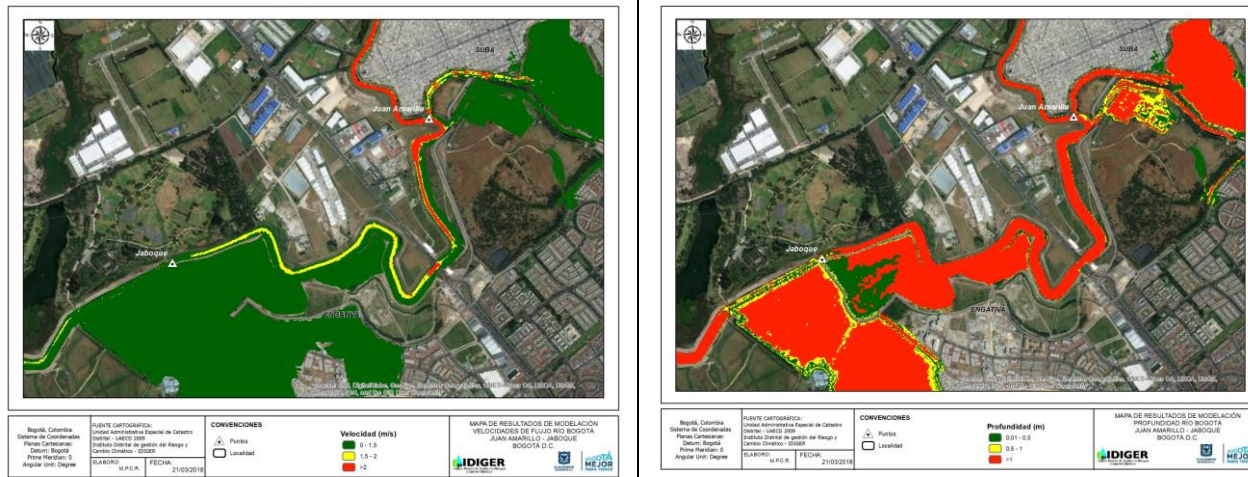


Figura 11.12.. Resultados de modelación Tramo Desembocadura río Salitre-Juan Amarillo – Humedal
Jaboque





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

Figura 11.13. Resultados de modelación Tramo Humedal Jaboque - Aeropuerto

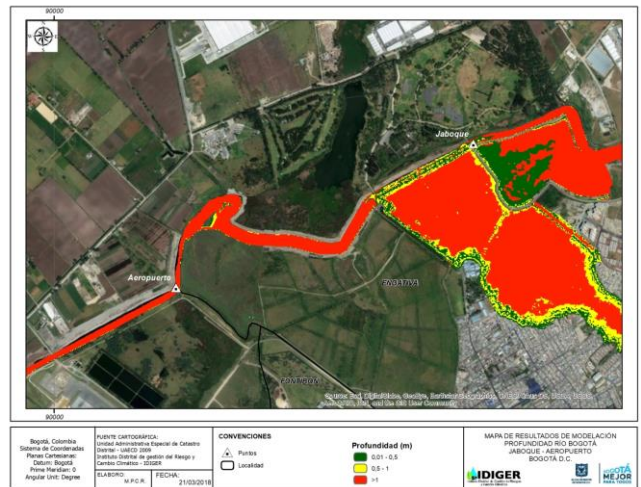
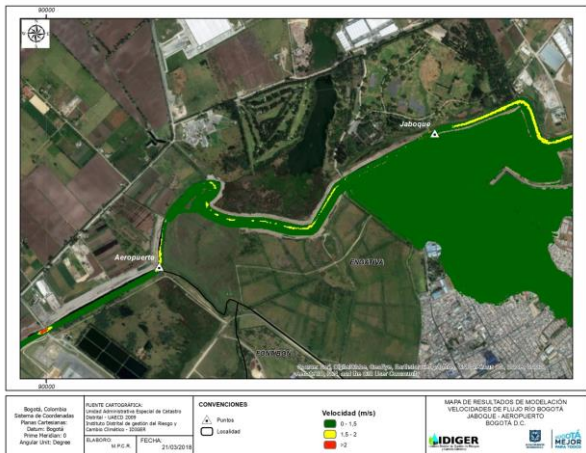


Figura 11.14. Resultados de modelación Tramo Aeropuerto – Desembocadura del Fucha

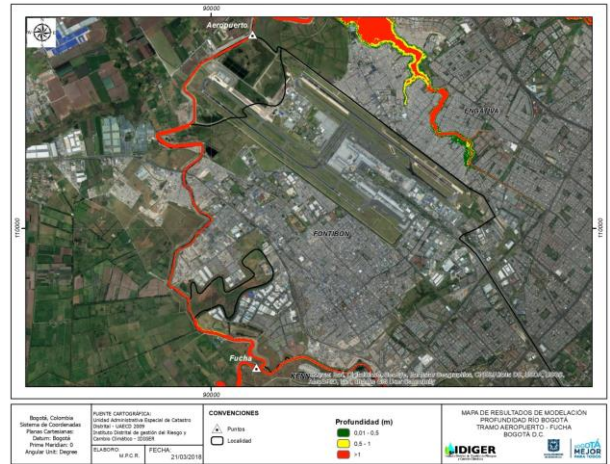
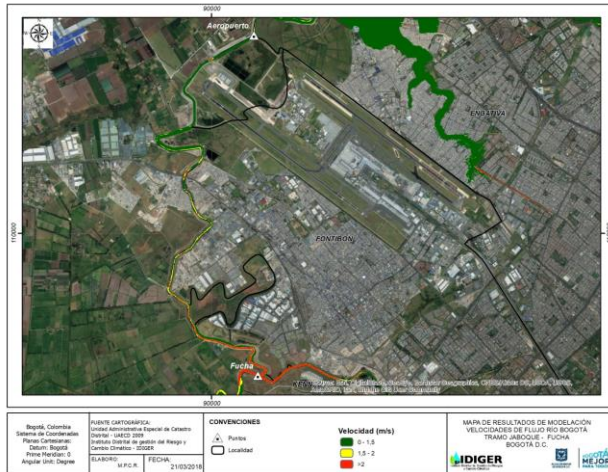
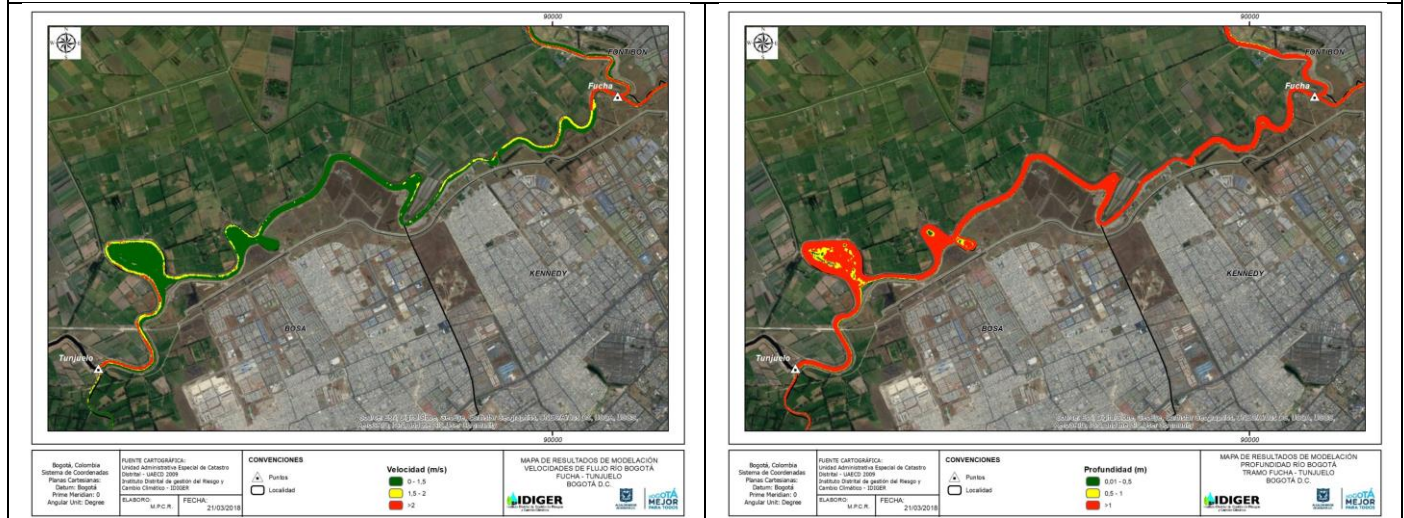


Figura 11.15. Resultados de modelación Tramo 5. Desembocadura del Fucha - Desembocadura del Tunjuelo



12 ANÁLISIS DE LA AMENAZA POR INUNDACIÓN

12.1 PROCESO METODOLÓGICO

Teniendo seleccionada la metodología para delimitación de las amenazas, se estandarizó un proceso para construir los mapas de amenazas, el cual consiste en 3 pasos (ver Figura 12.1).

Figura 12.1. Esquema del procedimiento para la zonificación de los niveles de amenazas con su respectiva interpretación.



A continuación, se describe cada paso de la Figura 12.1

1. A partir de la modelación hidráulica con el programa IBER se generan dos imágenes, los cuales contienen las magnitudes de las profundidades y las velocidades del flujo.
2. Se realiza la clasificación de la amenaza de acuerdo con las profundidades y las velocidades del flujo asociadas a un periodo de retorno de 100 años teniendo en cuenta la *Tabla 12.1*
3. Finalmente, la interpretación de los niveles de amenazas se realiza mediante las posibles consecuencias de acuerdo con la magnitud de las variables hidráulicas.

12.1.1 Información para la Evaluación de amenaza

La evaluación de amenaza como se ha mencionado se realizó en función de las obras y medidas de mitigación que ha adelantado la CAR como la encargada de ejecutar las obras de la adecuación hidráulica del río Bogotá a cargo del Fondo para las Inversiones Ambientales en la Cuenca del río Bogotá – FIAB, la Empresa de Acueducto, Agua, Alcantarillado y Aseo de Bogotá – EAB ESP en el río Tunjuelo y demás afluentes, y de esta empresa con la Secretaría Distrital de Ambiente en los humedales, donde la última información recibida corresponde con la entrega realizada por la EAB ESP (Radicado IDIGER 2018ER4850) del modelo hidráulico de los Humedales de Juan Amarillo y Jaboque, levantamiento de puntos LIDAR de los humedales Córdoba, Jaboque y Juan Amarillo y cuyos resultados fueron incorporados por el IDIGER en los análisis de amenaza. por tal razón los resultados son dependientes de la información e insumos disponibles para los análisis de amenaza.

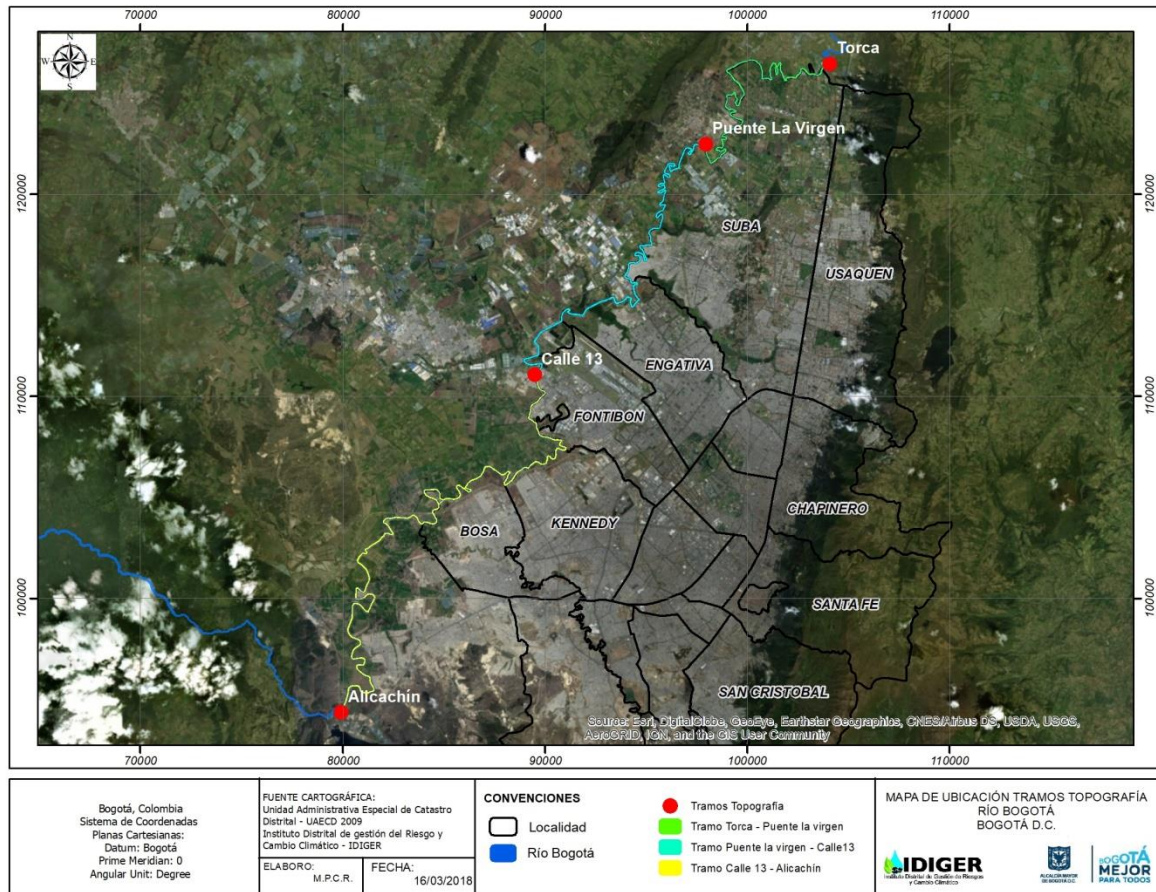
Para el río Bogotá, la información topográfica y batimétrica utilizada, se obtuvo a partir de 3 fuentes de información suministradas para igual número de sectores por la CAR, de acuerdo con el avance y ejecución del proyecto de adecuación hidráulica, en donde el primer sector topográfico entregado corresponde con los planos record oficiales de obra para el Sector Alicachín – Calle 13.

Para el segundo sector entre la Calle 13 y el sector denominado Puente La Virgen, se utilizó la información topográfica y batimétrica de los diseños de la adecuación hidráulica y para el tercer sector entre el sector denominado Puente La Virgen y la desembocadura del Canal Torca - Guaymaral, los levantamientos topográficos y batimétricos del 2007 que sirvieron como base para los diseños del proyecto de adecuación con los que se construyó el mapa para el escenario actual de amenaza.



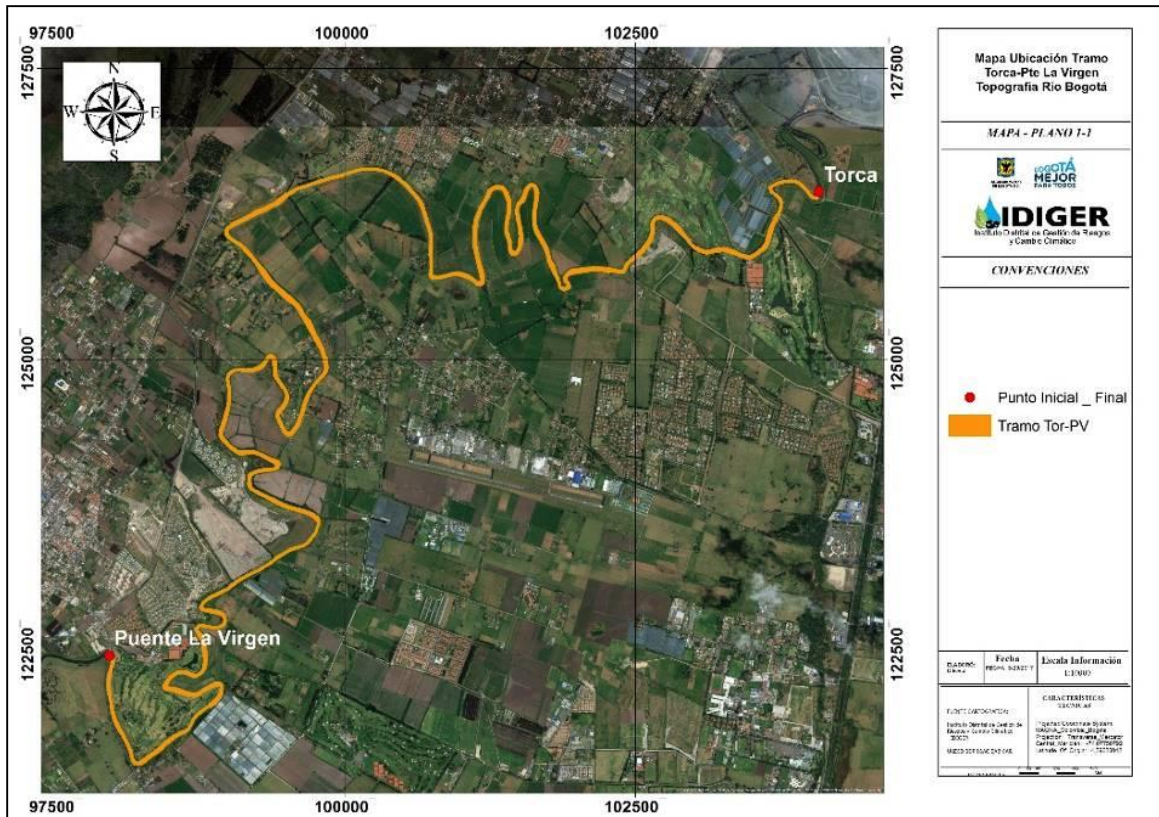
ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
AMBIENTE
Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático

Figura 12.2. Tramos Topografía y Batimetría



También se construyó el escenario prospectivo con los diseños de la CAR suministrados por el FIAB en 2017, entre el sector denominado Puente La Virgen y la desembocadura del Canal Torca – Guaymaral, que corresponde con el plano de la siguiente figura

Figura 12.3. Sector Puente La Virgen – Desembocadura río Torca donde se modeló tanto para el escenario actual como prospectivo



De acuerdo con lo mencionado, algunos sectores se analizaron con información de diseño e información topobatemétrica de años anteriores (sin contemplar obras de adecuación que ya están en proceso de finalización y sectores que ya cuenta con diseños definitivos de adecuación), información que es una variable principal para evaluar la condición de amenaza por inundación por desbordamiento del río Bogotá y que corresponde a dos escenarios uno para la condición actual y otra el escenario prospectivo donde se tendrían en cuenta los diseños de la CAR.

Por lo tanto, con la información remitida por la CAR para los tramos mencionados, el IDIGER realizó la evaluación de la amenaza por inundación por desbordamiento del río Bogotá teniendo en cuenta los planos record de obra y los diseños, situación que tendría una condición más conservadora en las modelaciones permitiendo tener un comportamiento de todo el cuerpo de agua en la cuenca media del río Bogotá en el Distrito Capital y los efectos de la nueva condición hidráulica generada por las obras de adecuación realizadas por la CAR.

Por lo anterior, se considera que si se realizan nuevas modelaciones, una vez la CAR termine la totalidad de las obras y realice la entrega oficial de los planos record de obra finales, los cambios esperados no deben ser sustanciales tanto como en los resultados de modelación y de la evaluación de amenaza por inundación por desbordamiento del río Bogotá, conforme las consideraciones realizadas para el presente concepto.

12.1.2 Análisis por criterios de niveles de amenaza

Para interpretar los niveles de amenaza se establecieron posibles consecuencias. Estas fueron basadas en investigaciones reportadas en la información metodológica consultada, teniendo cuenta daños a las infraestructuras e inestabilidad de cuerpos [uller, M. and B., n.d.; Engel, 2004; Gómez Valentín and Russo, 2009; Kreibich et al., 2009]. La Figura 12.4; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra las posibles consecuencias de acuerdo con el nivel de amenaza (sea por nombre o por colores).

Figura 12.4. Posibles consecuencias basadas la información metodológica consultada [uller, M. and B., n.d.; Engel, 2004; Gómez Valentín and Russo, 2009; Kreibich et al., 2009].



Teniendo en cuenta la metodología expuesta anteriormente se adoptaron las definiciones de zonas de amenaza presentada en la Tabla 12.1

Tabla 12.1. Definiciones de amenaza alta, media y baja adoptadas

CATEGORIZACIÓN DE LA AMENAZA	DESCRIPCIÓN	PARÁMETROS DE EVALUACIÓN	PERIODO DE RETORNO
AMENAZA ALTA	Zona delimitada por la línea de inundación producida por el desborde del cauce calculado para el caudal de creciente de un periodo de retorno igual a 100 años, con una profundidad de lámina de agua igual o superior a 1,00 m, y una velocidad de flujo agua igual o superior a 2 m/s.	Lámina de agua > 1,0 m Velocidad de Flujo > 2 m/s	100 años
AMENAZA MEDIA	Zona delimitada por la línea de inundación producida por el desborde del cauce calculado para el caudal de creciente de un periodo de retorno igual a 100 años, con una profundidad de lámina de agua entre 0,5 m y 1,0 m y una velocidad de flujo entre 1,5 m/s y 1,0 m/s. Adicionalmente contempla el área de influencia ante una posible falla funciona del sistema de drenaje pluvial de las plantas elevadoras	0,5 m > Lámina de agua < 1,0 m 1,5 m/s > Velocidad de Flujo < 2 m/s	100 años
AMENAZA BAJA	Zona delimitada por la línea de inundación producida por el desborde del cauce calculado para el caudal de creciente de un periodo de retorno igual a 100 años, con una profundidad de lámina de agua igual o inferior a 0,5 m, y una velocidad de flujo agua igual o inferior a 1,5 m/s.	Lámina de agua < 0,5 m Velocidad de Flujo < 1,5 m/s	100 años

Teniendo en cuenta el escenario de modelación desarrollado con caudales que exceden un periodo de retorno de 100 años en el río Bogotá, de acuerdo con los caudales de diseño de la adecuación hidráulica del río Bogotá, que al ser transitados a lo largo de la zona de evaluación en general quedan contenidos dentro del cauce del río, es necesario

Página 235 de 306

garantizar la eficiencia y funcionalidad de las medidas de mitigación de amenaza por inundación por desbordamiento por lo que se debe implementar programas sostenibles de seguimiento, monitoreo, mantenimiento preventivo y funcional de las mismas que eviten modificaciones en las condiciones de amenaza y por ende las de riesgo, para lo cual se debe garantizar que los responsables tengan acceso a las mismas.

12.1.3 Reconocimiento De Campo

Los días 28 de marzo y 25 de mayo de 2017 se realizaron recorridos de campo, con el objetivo de verificar el estado de las obras de adecuación hidráulica realizadas sobre el río Bogotá, adicionalmente se visitaron puntos críticos evidenciados durante las modelaciones.

De acuerdo con las verificaciones realizadas en campo se identificó la continuidad en las obras hidráulicas (Jarillones), presentando condiciones adecuadas de funcionamiento.

Tabla 12.2. Puntos visitados por tramo

Tramo	Puntos visitados
Tramo 1. Humedal de la Conejera- Juan Amarillo	Punto 1 (Latitud 4°44'15.61"N, Longitud 74° 7'39.70"O - Fotografías 1 y 2): Entrega humedal Juan Amarillo a río Bogotá. Se verifico el estado del jarillón de la margen izquierda que colinda con el sector de Gavilanes en la localidad de Suba.
Tramo 2. Juan Amarillo – Humedal Jaboque.	Punto 2: (Latitud 4°43'36.25"N, Longitud 74° 7'44.01"O - Fotografías 3 y 4) Ubicado aguas abajo de la Calle 80, sobre la margen izquierda del río Bogotá. Se verificó continuidad del jarillón. Punto 3: (Latitud 4°43'40.13"N, Longitud 74° 7'51.91"O - Fotografías 5 y 6) Ubicado 540 m aguas debajo de la Calle 80, sobre la margen izquierda del río Bogotá. Se verificó continuidad del jarillón.
Tramo 3. Humedal Jaboque – Aeropuerto.	Punto 4: (Latitud 4°43'42.45"N, Longitud 74° 8'34.75"O - Fotografías 7 y 8) Ubicado sobre la margen izquierda del río Bogotá, costado nororiental del humedal Jaboque. Se verificó continuidad del jarillón. Punto 5: (Latitud 4°43'31.10"N, Longitud 74° 8'54.76"O – Fotografías 9 y 10) Ubicado sobre la margen izquierda del río Bogotá, costado noroccidental del humedal Jaboque. Se verificó continuidad del jarillón.
Tramo 4. Aeropuerto – Desembocadura de Fucha.	Punto 6: (Latitud 4°42'4.95"N, Longitud 74°10'8.98"O – Fotografías 11 y 12) Ubicado aproximadamente 3.4 km aguas abajo del aeropuerto el Dorado, sobre la margen izquierda del río Bogotá. Se verificó continuidad del jarillón.



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.

AMBIENTE

Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático

	Punto 7: (Latitud 4°40'33.68"N, Longitud 74°10'29.57"O – Fotografías 13 y 14) Ubicado sobre la margen derecha del río Bogotá, cerca al cruce de la Carrera 123 en la localidad de Fontibón. Se verificaron puntos bajos de acuerdo con la información topográfica debido al emplazamiento de un puente vehicular (Carrera 123). Sin embargo los jarillones presentan continuidad y altura constante. Punto 8: (Latitud 4°40'12.44"N, Longitud 74°10'14.66"O – Fotografía 15) Ubicado sobre la margen derecha del río Bogotá aproximadamente 0.86 km aguas abajo del puente vehicular de la Carrera 123 en la localidad de Fontibón. Se verificó continuidad del jarillón. Punto 9: (Latitud 4°40'9.68"N, Longitud 74°10'13.41"O – Fotografía 16) Ubicado sobre la margen derecha del río Bogotá aproximadamente 0.94 km aguas abajo del puente vehicular de la Carrera 123 en la localidad de Fontibón. Se verificó continuidad del jarillón. Punto 10: (Latitud 4°40'2.78"N, Longitud 74° 9'49.40"O – Fotografía 17) Ubicado, sobre la margen izquierda del río Bogotá, donde descarga la estación de bombeo de la EAB – ESP. Se verificó continuidad del jarillón.
Tramo Desembocadura Fucha Desembocadura Tunjuelo	5. Punto 11: (Latitud 4°39'17.95"N, Longitud 74°10'26.54"O – Fotografía 18) Ubicado aproximadamente 2.6 km aguas debajo de la entrega del río Fucha, sobre la margen izquierda del río Bogotá, donde descarga bomba auxiliar que extrae agua del Canal Cundinamarca. Se verificó continuidad del jarillón. – Punto 12: (Latitud 4°38'48.82"N, Longitud 74°11'9.72"O – Fotografías 19 y 20) Ubicado en el sector denominado de las "Marraneras", sobre la margen izquierda del río Bogotá. Se verificó continuidad del jarillón. Punto 13: (Latitud 4°38'34.70"N, Longitud 74°13'18.69"O – Fotografías 21 y 22) Ubicado aproximadamente 2.8 km aguas arriba de la entrega del río Tunjuelo, sobre la margen derecha del río Bogotá. Se verificó continuidad del jarillón.

En la siguiente figura se presenta la ubicación de los puntos identificados y de la Fotografía 1 a la Fotografía 21 se realiza la descripción de dichos puntos.



GP-CER453497



CO-SC-CER453496



CO-SC-CER453496



CO-SA-CER366134

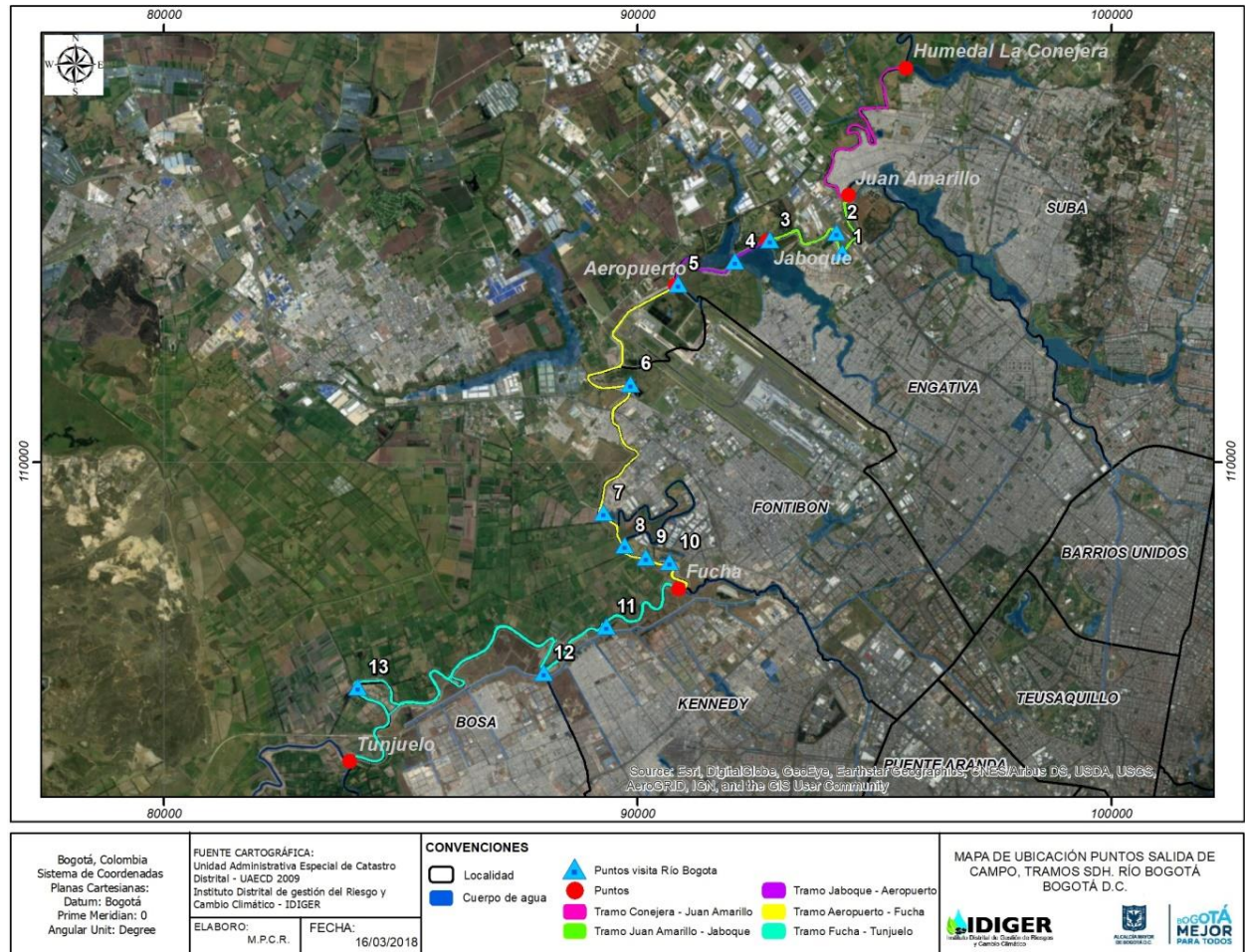
Certificado N° CO-SC-CER453496
Certificado N° CO-SA-CER366134
Certificado N° GP-CER453497

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



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

Figura 12.5. Localización de los puntos visitados el día 28 de Marzo y 25 de Mayo del 2017.





ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.

AMBIENTE

Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático



Fotografía 1. Punto 1: Se observa la entrega del humedal Juan Amarillo al río Bogotá y la continuidad de los jarillones.



Fotografía 2. Punto 1: Vista del exterior de jarillón del río Bogotá en el sector de Gavilanes de la localidad de Suba.



Fotografía 3 y Fotografía 4. Punto 2: Se observa la continuidad del jarillón izquierdo aguas abajo del puente de la calle 80.



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



Fotografía 5.y Fotografía 6. Punto 3: Ubicado aproximadamente 540 m aguas debajo de la Calle 80. Se observó continuidad de los jarillones que conforman la margen izquierda del río Bogotá.



Fotografía 7. Punto 4. Se observa el margen izquierdo del río Bogotá que colinda con el costado nororiental del humedal Jaboque, donde el jarillón presenta continuidad.

Fotografía 8. Punto 4. Vista costado nororiental del humedal Jaboque.



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



Fotografía 9. Fotografía 10. Punto 5. Se observa el margen izquierdo del río Bogotá que colinda con el costado noroccidental del humedal Jaboque, donde el jarillón presenta igualmente continuidad.



Fotografía 11 y Fotografía 12. Punto 6. Se verificó la continuidad del jarillón sobre la margen izquierda donde el río presenta un comportamiento sinuoso.



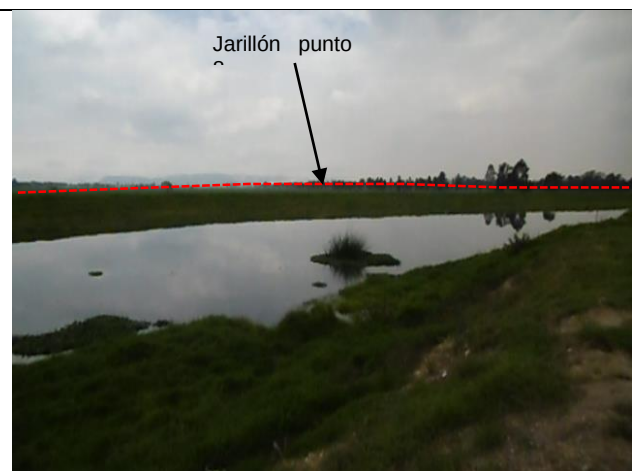
ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
AMBIENTE
Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático



Fotografía 13 y Fotografía 14. Punto 7. Se verificó la existencia de puntos bajos sobre la margen derecha del río, posiblemente por el emplazamiento de un puente vehicular (Carrera 123); sin embargo se observó continuidad del jarillón y altura aproximadamente constante.



Fotografía 15. Punto 8. Se verificó la continuidad del jarillón, sobre la margen derecha del río Bogotá.



Fotografía 16. Punto 9. Se verificó la continuidad del jarillón, sobre la margen derecha del río Bogotá.



Fotografía 17. Punto 10. Se verificó la continuidad del jarillón, sobre la margen izquierda del río Bogotá, donde hace descarga la estación de bombeo de la EAB – ESP.



Fotografía 18. Punto 11. Se verificó la continuidad del jarillón, sobre la margen derecha del río Bogotá, donde hace descarga bomba auxiliar de la EAB – ESP que extrae agua del canal Cundinamarca.



Fotografía 19 y Fotografía 20. Punto 12. Se verificó la continuidad del jarillón, sobre la margen izquierda del río Bogotá, en el sector denominado las ‘Las Marraneras’.



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.

AMBIENTE

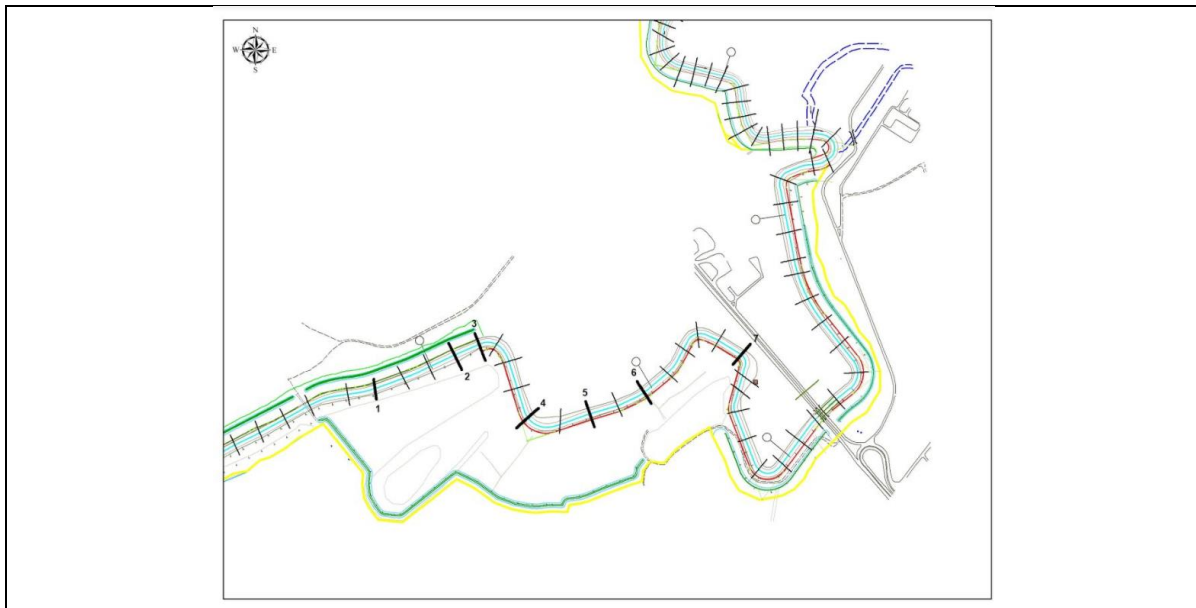
Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático



Fotografía 21 y Fotografía 22. Punto 13: Se verificó la continuidad del jarillón, sobre la margen derecha del río Bogotá.

Posteriormente, en el mes de febrero de 2018 la EAB-ESP y la Secretaría de Ambiente informaron que se habían realizado intervenciones diferentes a las diseñadas por la CAR en el sector comprendido entre el humedal de Jaboque y la Calle 80, por lo que se realizó recorrido de campo los días 15 de febrero y 2 de marzo de 2018 donde se encontró lo siguiente:

Figura 12.6. Localización de los sitios verificados en febrero y marzo de 2018



Diferencias entre el diseño y lo construido

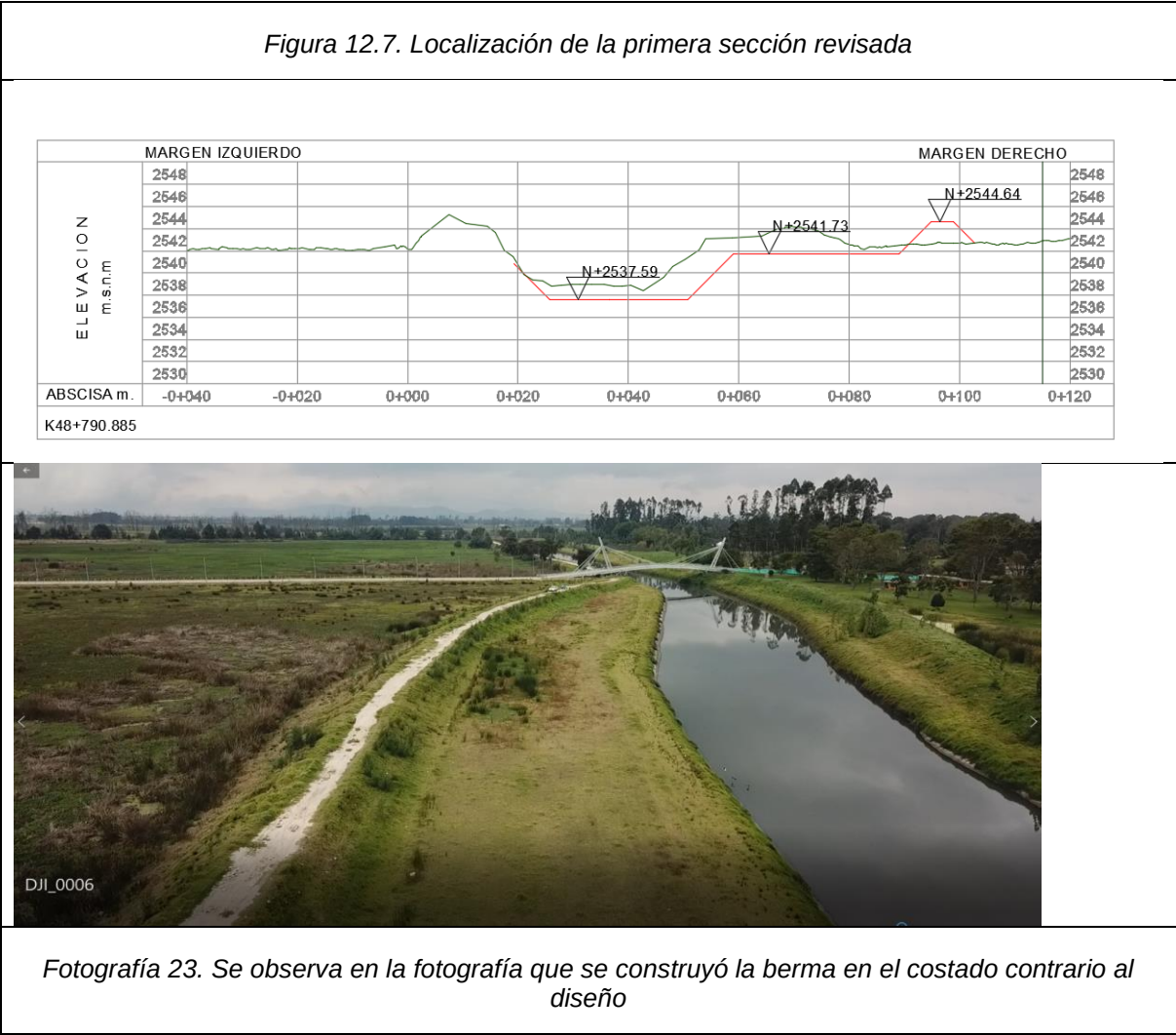
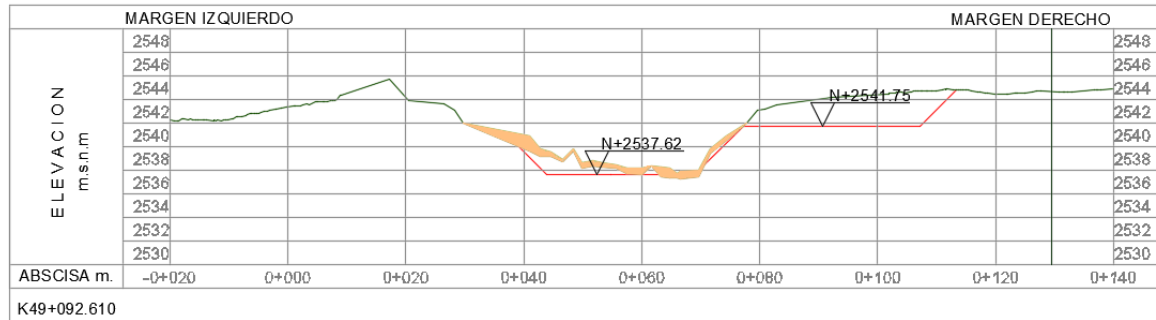




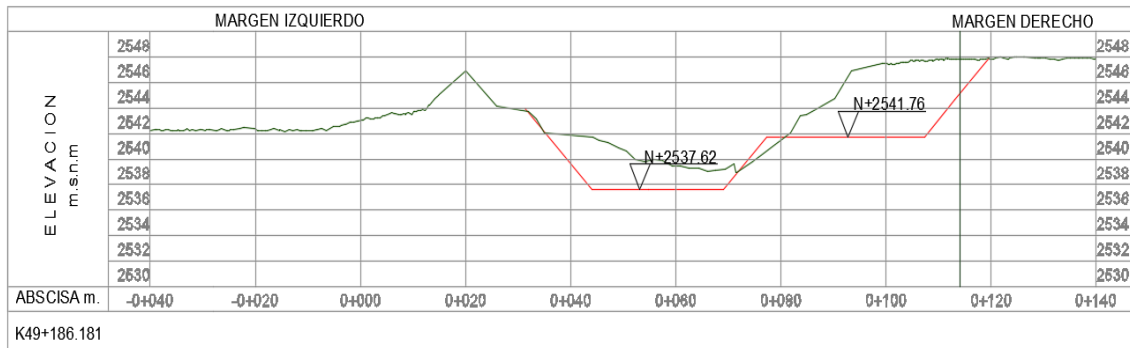
Figura 12.8. Localización de la segunda sección revisada



Fotografía 24. Se observa en la fotografía que se construyó la berma en el costado contrario al diseño y que el jarillón se modificó.



Figura 12.9. Localización de la tercera sección revisada

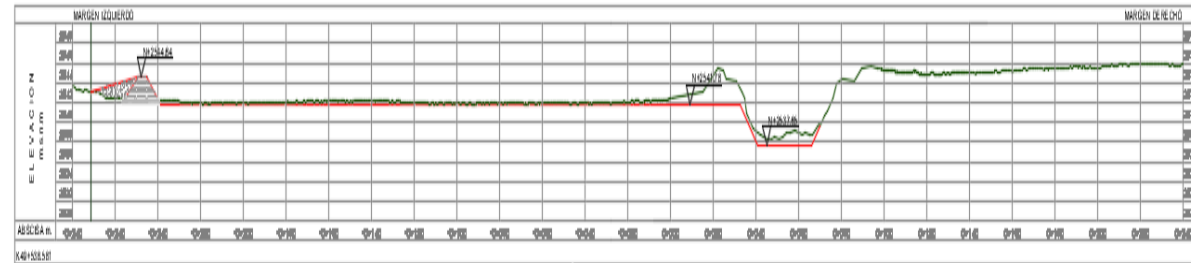


Fotografía 25. Se observa en la fotografía que se modificó el terreno diferente a como se encontraba en el diseño.



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

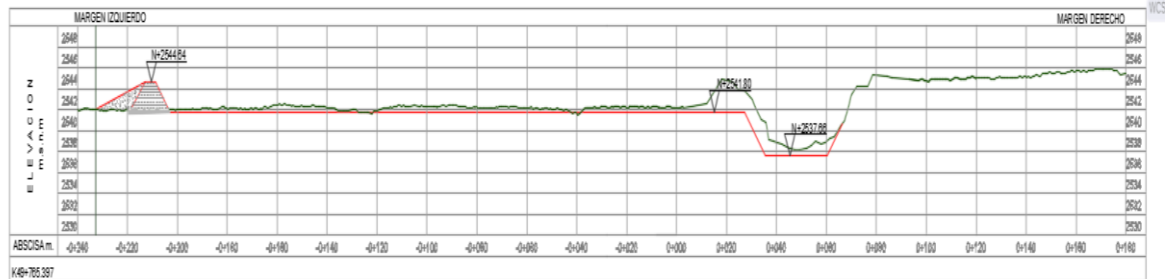
Figura 12.10. Localización de la cuarta sección revisada



Fotografía 26. Se observa en la fotografía que no se construyó el jarillón.



Figura 12.11. Localización de la quinta sección revisada

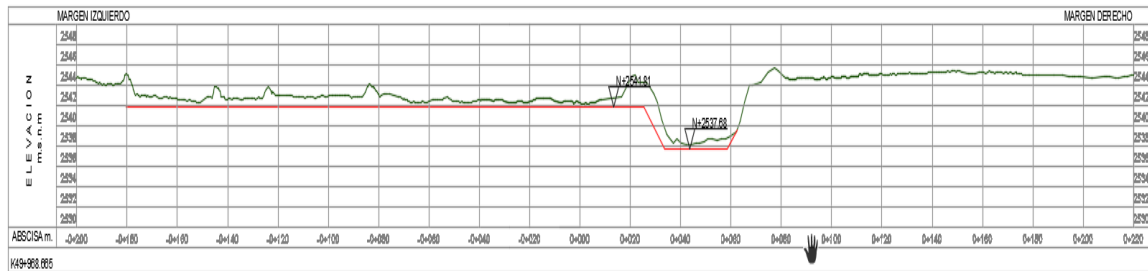


Fotografía 27. Se observa en la fotografía que se realizó un relleno que no estaba en los diseños el cual se incorporó en los ajustes de la amenaza



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

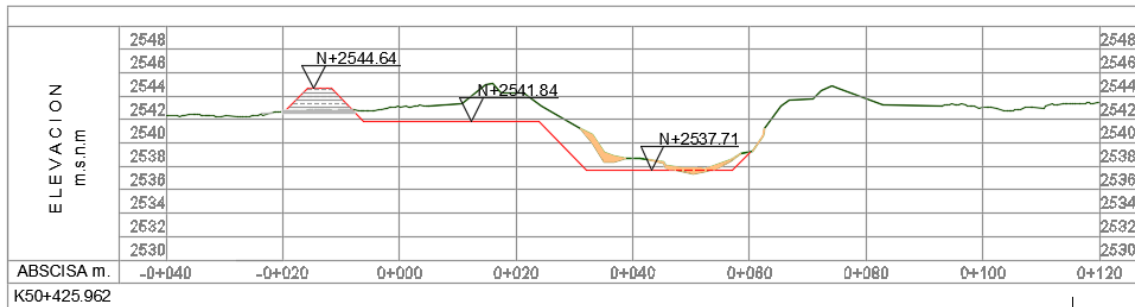
Figura 12.12. Localización de la sexta sección revisada



Fotografía 28. Se observa en la fotografía que la zona se dejó como en el diseño



Figura 12.13. Localización de la séptima sección revisada



Fotografía 29. Se observa en la fotografía que la zona se dejó como en el diseño

Con base en los resultados de la visita de campo y la información entregada por la EAB-ESP se realizaron los ajustes a la modelación.

12.2 Información y estudios complementarios.

En atención al radicado IDIGER No. 2018ER11100 del 22 de junio de 2018, donde se indicó que para el proyecto “Ciudad Río” la Administración Distrital ha priorizado un tramo piloto que se plantea en la zona ubicada entre la Avenida Calle 80 y el humedal de Jaboque, tramo que tiene una longitud aproximada de 2.5 km y que “...Como el Proyecto Ciudad Río desarrollará las obras descritas en la consultoría en el tramo piloto, se solicita que el Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático – IDIGER incorpore en el análisis de amenaza por inundación por desbordamiento prospectivo del río Bogotá los estudios de factibilidad del contrato de consultoría mencionado.

Página 251 de 306

Por consiguiente, a este oficio se anexaron los productos de la consultoría, destacando que en el informe de los productos 2 y 4 se describen las acciones que adelantará la administración para la adecuación hidráulica y navegabilidad del río...”, para lo cual la entidad se permitió informar:

“El IDIGER viene adelantando los estudios básicos que establece el Decreto 1807 de 2014 (compilado por el Decreto 1077 de 2015) para la revisión de los contenidos de mediano y largo plazo del Plan de Ordenamiento Territorial – POT. Estos estudios para la información solicitada se realizan mediante análisis básicos de amenaza por inundación con las condiciones técnicas y escalas establecidas en el Decreto en mención”.

Con base en la información anexa en la comunicación, que corresponde con la información del contrato de consultoría de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá – EAB – ESP No. 2-02-25500-0813-2017 ejecutado por la empresa Escala Ingeniería Ltda., se procedió a realizar las modelaciones hidráulicas que permitieran evaluar la amenaza por inundación por desbordamiento para el escenario prospectivo con las medidas propuestas sobre el río Bogotá en el sector comprendido entre la Avenida Calle 80 y el humedal de Jaboque.

A continuación, se muestran las secciones propuestas para el tramo mencionado anteriormente:

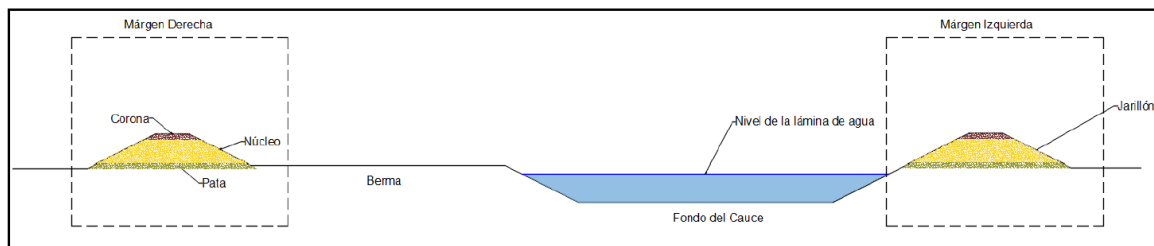


Figura 1. Propuesta para la construcción de zonas de embarque y acceso al proyecto.

Fuente: Elaboración propia.

Fuente ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE LA NAVEGABILIDAD DEL RÍO BOGOTÁ PARA IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO CIUDAD RÍO. Escala Ingeniería Ltda.



**ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.**

AMBIENTE

Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático

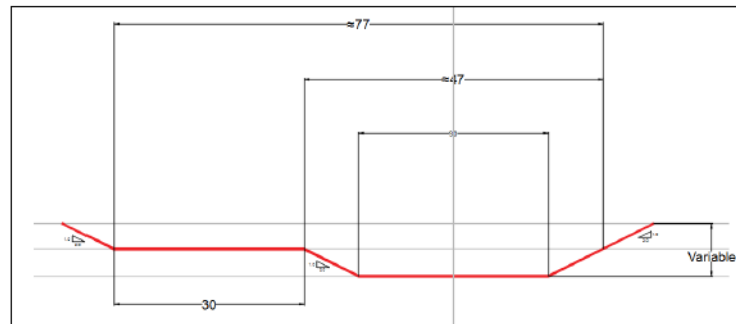


Figura 4. Sección transversal del río en la zona de Estudio. Tramo Alicachín – Río Salitre.
Fuente: Elaboración propia.

Fuente ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE LA NAVEGABILIDAD DEL RÍO BOGOTÁ PARA
IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO CIUDAD RÍO. Escala Ingeniería Ltda.

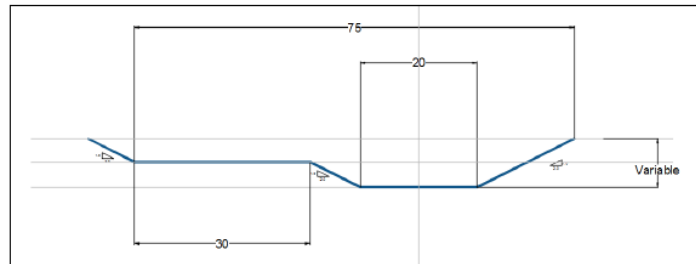


Figura 5. Sección transversal del río en la zona de Estudio. Tramo Río Salitre – Puente La Virgen.
Fuente: Elaboración propia.

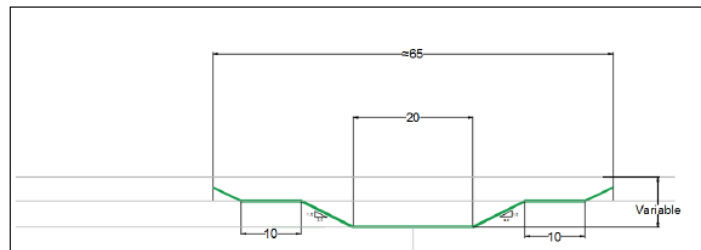


Figura 6. Sección transversal del río en la zona de Estudio. Tramo Puente La Virgen – Puente del Común.
Fuente: Elaboración propia.

Fuente ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE LA NAVEGABILIDAD DEL RÍO BOGOTÁ PARA
IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO CIUDAD RÍO. Escala Ingeniería Ltda.



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

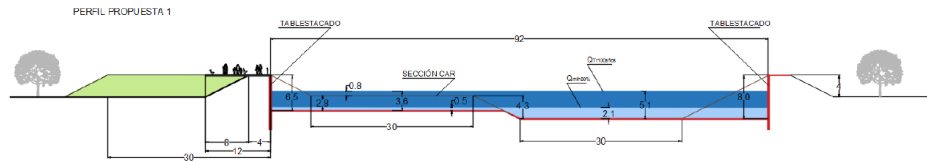


Figura 7. Alternativa No. 1 – Tablestacado en ambos costados del río
Fuente: Elaboración propia.

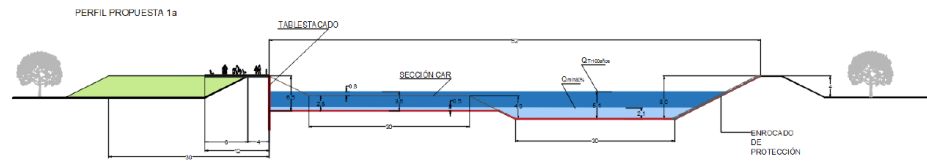


Figura 8. Alternativa No. 1a – Tablestacado en un solo costado del río
Fuente: Elaboración propia.

Fuente ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE LA NAVEGABILIDAD DEL RÍO BOGOTÁ PARA IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO CIUDAD RÍO. Escala Ingeniería Ltda.

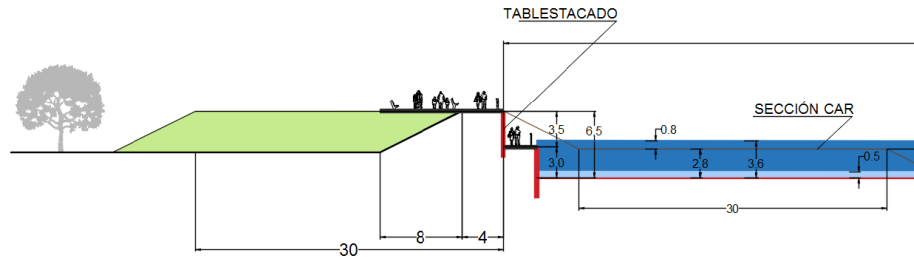


Figura 9. Alternativa No. 1b – Tablestacado escalonado en un solo costado del río
Fuente: Elaboración propia.

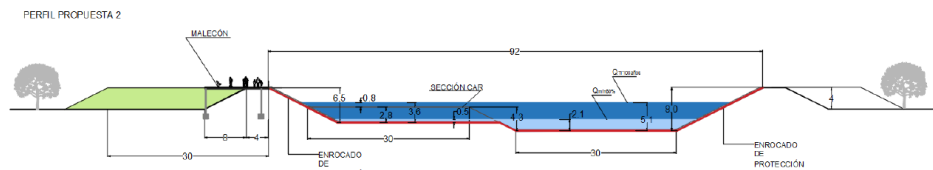


Figura 10. Alternativa No. 2 – Plataforma sobre lámina de agua
Fuente: Elaboración propia.

Fuente ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE LA NAVEGABILIDAD DEL RÍO BOGOTÁ PARA IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO CIUDAD RÍO. Escala Ingeniería Ltda.

A partir de los resultados obtenidos en la modelación, se generó el mapa de “Amenaza por Inundación por Desbordamiento en perspectiva de cambio climático, para el escenario prospectivo” el cual se presentará posteriormente.



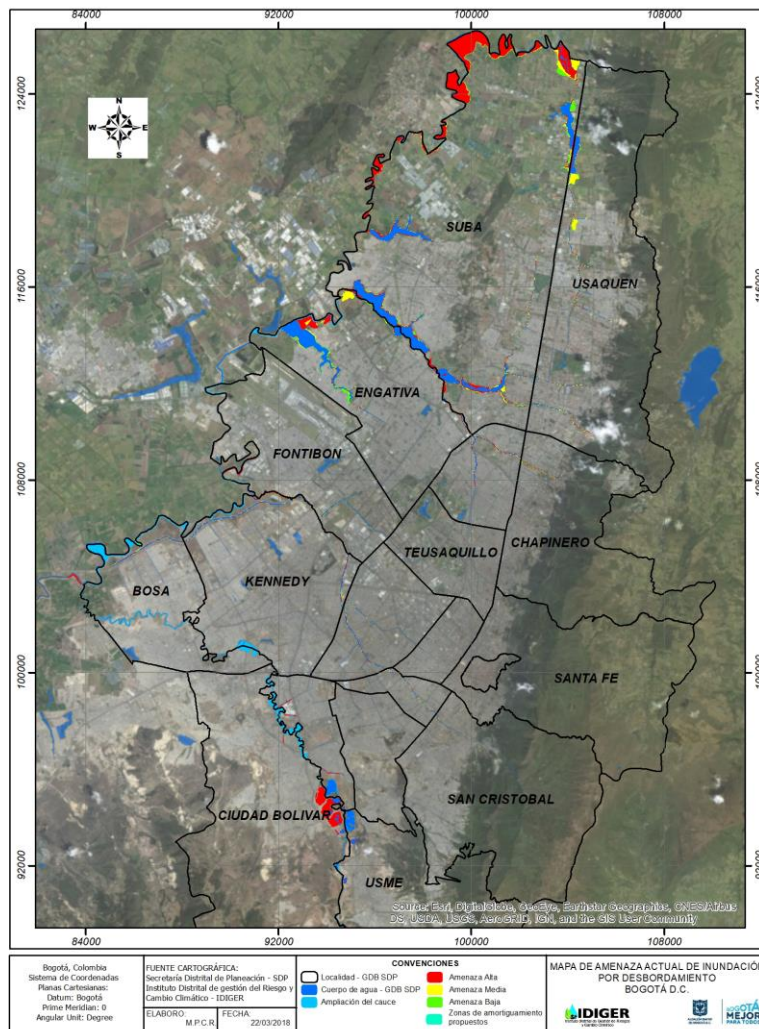
ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
AMBIENTE
Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático

12.3 RESULTADOS DE AMENAZA

De acuerdo con los resultados de modelación presentados en este ítem y teniendo en cuenta la metodología descrita anteriormente, se obtuvo la zonificación de amenaza para el escenario actual y prospectivo como se presenta en las siguientes figuras:

Escenario Actual

Figura 12.14. Zonificación de Amenaza por Inundación por desbordamiento en perspectiva de cambio climático para el escenario actual.



Para el escenario actual con relación a la Resolución 858 de 2013 se presenta una disminución en la amenaza por inundación por desbordamiento pasando del 4,2% que equivale a 6832 ha a un 0,53 % que corresponde con 870 ha del cual el 69% es amenaza alta, el 22% media y el 9% baja, tal como se muestra en la siguiente figura y se discretiza por localidad en la tabla:

Figura 12.15. Áreas en amenaza Escenario Actual

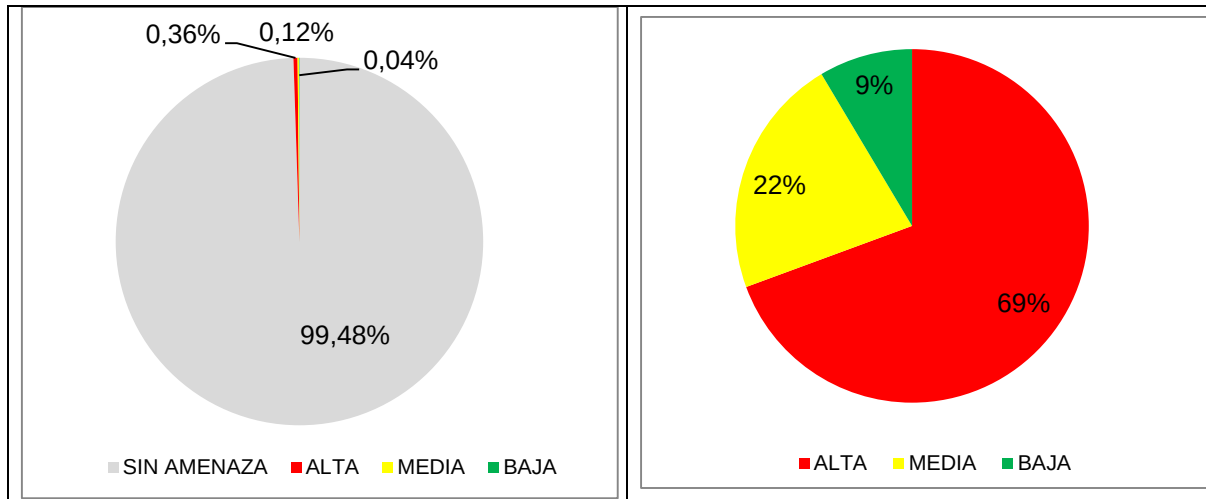


Tabla 12.3. Áreas amenaza alta, media y baja por localidad

No.	LOCALIDAD	AREA	ESCENARIO ACTUAL		
			AMENAZA		
			ALTA (ha)	MEDIA (ha)	BAJA (ha)
1	USAQUEN	6520,14	13,58	47,29	
2	CHAPINERO	3800,89	2,13	2,41	
3	SANTA FE	4517,06			
4	SAN CRISTOBAL	4909,85	0,15	0,41	
5	USME	21506,67	1,67		
6	TUNJUELITO	991,09	5,12		
7	BOSA	2393,32	2,42	2,48	
8	KENNEDY	3858,97	5,56	9,59	
9	FONTIBON	3328,10	2,2	5,75	
10	ENGATIVA	3588,10	48,25	34,65	22,05
11	SUBA	10056,05	422,47	83,97	45,38
12	BARRIOS UNIDOS	1190,34	6,66	5,62	
13	TEUSAQUILLO	1419,32			
14	LOS MARTIRES	651,40			

Página 256 de 306



**ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.**

AMBIENTE
Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático

No.	LOCALIDAD	AREA	ESCENARIO ACTUAL		
			AMENAZA		
			ALTA (ha)	MEDIA (ha)	BAJA (ha)
15	ANTONIO NARIÑO	487,95	0,63	2,41	
16	PUENTE ARANDA	1731,11	1,63	4,311	
17	CANDELARIA	206,02			
18	RAFAEL URIBE URIBE	1383,41			
19	CIUDAD BOLIVAR	13000,26	72,59		
20	SUMAPAZ	78096,88			
TOTAL		163636,96	585,06	198,89	67,43
TOTAL ÁREA EN AMENAZA		870,15			
PORCENTAJE DE AMENAZA EN LA CIUDAD			0,4%	0,1%	0,0%
PORCENTAJE RELATIVO DE AMENAZA			69%	22%	9%

Los cambios con relación a la Resolución 858 de 2013 se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 12.4. Cambios de las Áreas amenaza alta, media y baja por localidad

No.	LOCALIDAD	DIFERENCIA DEC. 190 DE 2004			CAMBIOS
		AMENAZA			
		ALTA (ha)	MEDIA (ha)	BAJA (ha)	
1	USAQUEN	17	-47	0	Disminuye la amenaza alta por las obras adelantadas por la CAR en el río Bogotá, aumenta la amenaza media en el área de influencia de los humedades y del Canal San Antonio.
2	CHAPINERO	-2	-2	0	Aumenta la amenaza por los canales, para los cuales la delimitación no incluye algunos taludes.
3	SANTA FE	0	0	0	
4	SAN CRISTOBAL	0	0	0	
5	USME	14	13	19	Disminuye en las tres amenazas por las obras adelantadas en el río Tunjuelo por la EAB- ESP
6	TUNJUELITO	55	91	92	Disminuye en las tres amenazas por las obras adelantadas en el río Tunjuelo por la EAB- ESP
7	BOSA	222	1201	190	Disminuye la amenaza alta por las obras adelantadas por la CAR en el río Bogotá
8	KENNEDY	117	1392	91	Disminuye la amenaza alta por las

Página 257 de 306



**ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.**

AMBIENTE
Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático

No.	LOCALIDAD	DIFERENCIA DEC. 190 DE 2004			CAMBIOS
		AMENAZA			
		ALTA (ha)	MEDIA (ha)	BAJA (ha)	
					obras adelantadas por la CAR en el río Bogotá
9	FONTIBON	108	257	324	Disminuye la amenaza alta por las obras adelantadas por la CAR en el río Bogotá
10	ENGATIVA	176	407	78	Disminuye la amenaza alta por las obras adelantadas por la CAR en el río Bogotá
11	SUBA	609	345	128	Disminuye la amenaza alta por las obras adelantadas por la CAR en el río Bogotá
12	BARRIOS UNIDOS	-7	-6	0	Aumenta la amenaza amenaza por los canales, para los cuales la delimitación no incluye algunos taludes.
13	TEUSAQUILLO	0	0	0	
14	LOS MARTIRES	0	0	0	
15	ANTONIO NARIÑO	-1	-2	0	Aumenta la amenaza por los canales, para los cuales la delimitación oficial de los cauces no incluyen algunos taludes.
16	PUENTE ARANDA	-2	-4	0	Aumenta la amenaza por los canales, para los cuales la delimitación de amenaza no incluye algunos taludes.
17	CANDELARIA	0	0	0	
18	RAFAEL URIBE URIBE	18	4	12	
19	CIUDAD BOLIVAR	-41	21	96	Aumenta la alta por la Zona de Gravilleras del río Tunjuelo, disminuye la amenaza alta y la amenaza media por las obras adelantadas por la EAB en el río Tunjuelo.
20	SUMAPAZ	0	0	0	
TOTAL		1284	3667	1030	



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

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

**BOGOTÁ
MEJOR
PARA TODOS**

Escenario Prospectivo

Para el escenario prospectivo se presenta una disminución en la amenaza por inundación por desbordamiento pasando del 4,2% que corresponde con 6832 ha a un 0,28% que corresponde con 460 ha, de las cuales el 52% es amenaza alta, el 47% media y el 1% baja, tal como se muestra en la siguiente figura y se discretiza por localidad en la tabla:

Figura 12.16. Áreas en amenaza Escenario Prospectivo

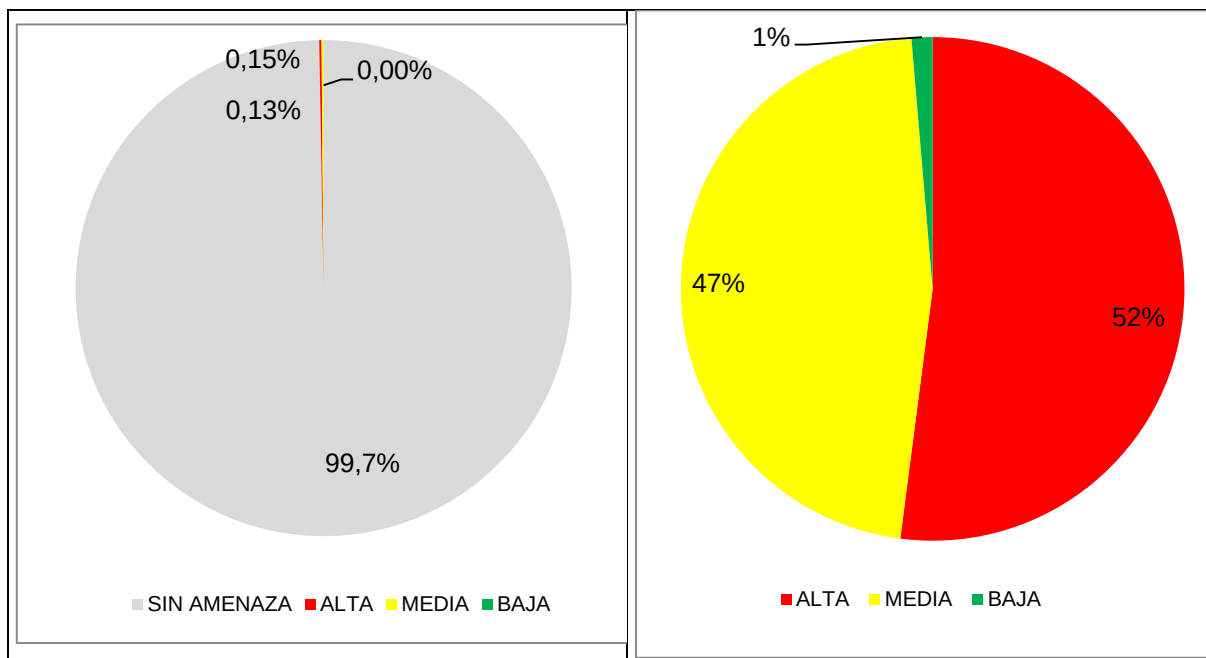


Tabla 12.5. Áreas amenaza alta, media y baja por localidad

No.	LOCALIDAD	AREA	ESCENARIO PROSPECTIVO		
			AMENAZA		
			ALTA (ha)	MEDIA (ha)	BAJA (ha)
1	USAQUEN	6520,14	13,58	47,29	
2	CHAPINERO	3800,89	2,13	2,41	
3	SANTA FE	4517,06			
4	SAN CRISTOBAL	4909,85	0,15	0,41	
5	USME	21506,67	1,67		
6	TUNJUELITO	991,09	5,12		

Página 259 de 306



**ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.**

AMBIENTE
Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático

No.	LOCALIDAD	AREA	ESCENARIO PROSPECTIVO		
			AMENAZA		
			ALTA (ha)	MEDIA (ha)	BAJA (ha)
7	BOSA	2393,32	2,42	2,48	
8	KENNEDY	3858,97	5,56	9,59	
9	FONTIBON	3328,10	2,2	5,75	
10	ENGATIVA	3588,10	11,91	48,17	
11	SUBA	10056,05	113,39	86,12	6,19
12	BARRIOS UNIDOS	1190,34	6,66	5,62	
13	TEUSAQUILLO	1419,32			
14	LOS MARTIRES	651,40			
15	ANTONIO NARIÑO	487,95	0,63	2,41	
16	PUENTE ARANDA	1731,11	1,63	4,3	
17	CANDELARIA	206,02			
18	RAFAEL URIBE URIBE	1383,41			
19	CIUDAD BOLIVAR	13000,26	72,59		
20	SUMAPAZ	78096,88			
TOTAL		163636,96			
TOTAL ÁREAS EN AMENAZA		460,46	239,68	214,58	6,19
PORCENTAJE DE AMENAZA EN LA CIUDAD			0,15%	0,13%	0,0%
PORCENTAJE RELATIVO DE AMENAZA			52%	47%	1%

Los cambios con relación a la Resolución 858 de 2013 se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 12.6. Cambios de las Áreas amenaza alta, media y baja por localidad

No.	LOCALIDAD	DIFERENCIA DEC. 190 DE 2004			CAMBIOS
		AMENAZA			
		ALTA (ha)	MEDIA (ha)	BAJA (ha)	
1	USAQUEN	17	-47	0	Disminuye la amenaza alta por las obras adelantadas por la CAR en el río Bogotá, aumentan la media en el área de influencia de los humedades y del Canal San Antonio.
2	CHAPINERO	-2	-2	0	Aumenta la amenaza por los canales, para los cuales la delimitación no incluye algunos taludes.
3	SANTA FE	0	0	0	
4	SAN CRISTOBAL	0	0	0	



**ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.**

AMBIENTE
Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático

No.	LOCALIDAD	DIFERENCIA DEC. 190 DE 2004			CAMBIOS
		AMENAZA			
		ALTA (ha)	MEDIA (ha)	BAJA (ha)	
5	USME	14	13	19	Disminuye en las tres amenazas por las obras adelantadas en el río Tunjuelo por la EAB- ESP
6	TUNJUELITO	55	91	92	Disminuye en las tres amenazas por las obras adelantadas en el río Tunjuelo por la EAB- ESP
7	BOSA	222	1201	190	Disminuye la amenaza alta por las obras adelantadas por la CAR en el río Bogotá
8	KENNEDY	117	1392	91	Disminuye la amenaza alta por las obras adelantadas por la CAR en el río Bogotá
9	FONTIBON	108	257	324	Disminuye la amenaza alta por las obras adelantadas por la CAR en el río Bogotá
10	ENGATIVA	213	393	100	Disminuye la amenaza alta por las obras adelantadas por la CAR en el río Bogotá y las medidas propuestas por la SDP.
11	SUBA	918	343	167	Disminuye la amenaza alta por las obras proyectadas por la CAR en el río Bogotá
12	BARRIOS UNIDOS	-7	-6	0	Aumenta la amenaza por los canales, para los cuales la delimitación no incluye algunos taludes.
13	TEUSAQUILLO	0	0	0	
14	LOS MARTIRES	0	0	0	
15	ANTONIO NARIÑO	-1	-2	0	Aumenta la amenaza por los canales, para los cuales la delimitación no incluye algunos taludes.
16	PUENTE ARANDA	-2	-4	0	Aumenta la amenaza por los canales, para los cuales la delimitación no incluye algunos taludes.
17	CANDELARIA	0	0	0	
18	RAFAEL URIBE URIBE	18	4	12	
19	CIUDAD BOLIVAR	-41	21	96	Aumenta la amenaza alta por la Zona de Gravilleras del río Tunjuelo, disminuye la alta y la media por las obras adelantadas por la EAB en el río Tunjuelo.
20	SUMAPAZ	0	0	0	
TOTAL		1579	3698	1041	

Página 261 de 306

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

Código Postal: 111071



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

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

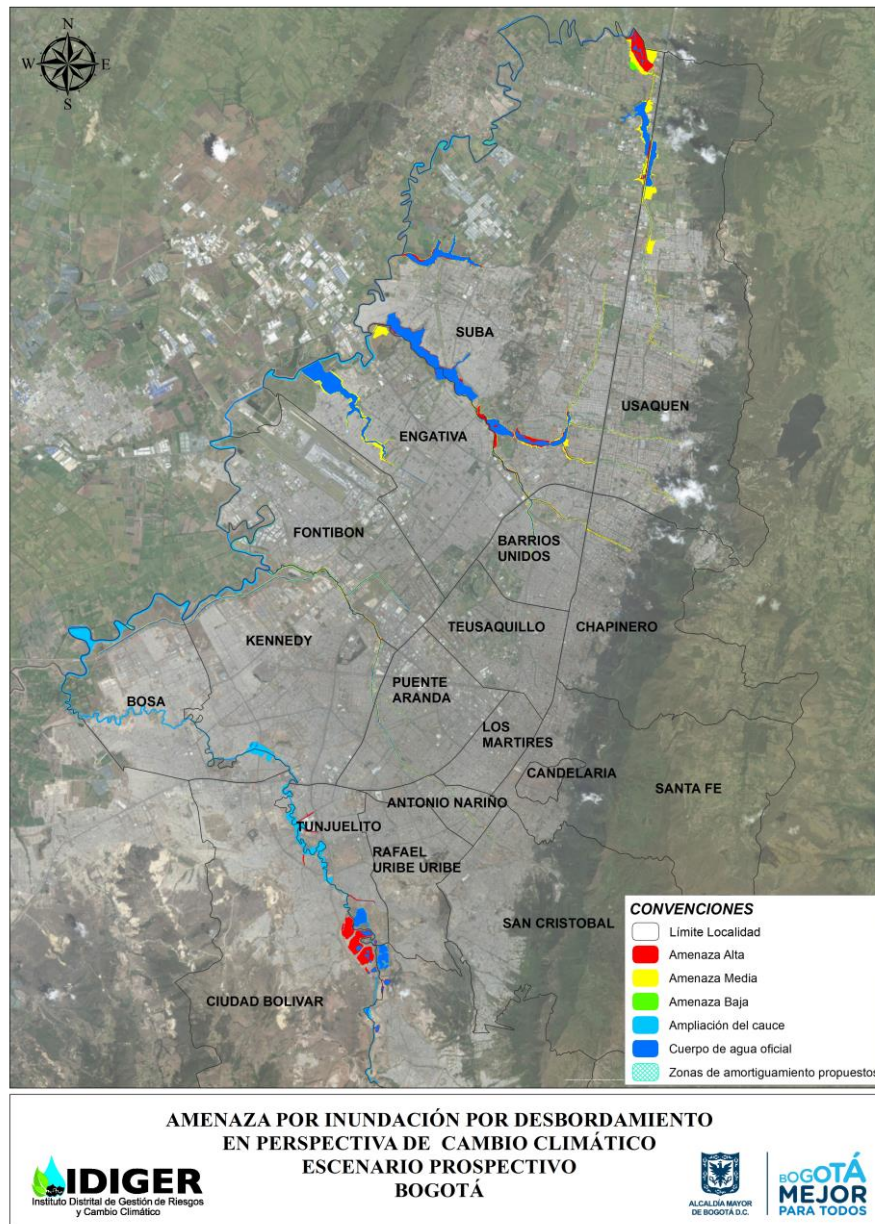
**BOGOTÁ
MEJOR
PARA TODOS**

Como se observa se mantienen los cambios para el escenario actual y como se presenta en la siguiente tabla los cambios para el escenario prospectivo se dan en la localidad de Suba principalmente y en menor medida para la localidad de Engativá.

Tabla 12.7. Cambios de las Áreas amenaza alta, media y baja por localidad

No.	LOCALIDAD	DIFERENCIA ESCENARIO ACTUAL Y ESCENARIO PROSPECTIVO			CAMBIOS
		AMENAZA			
		ALTA (ha)	MEDIA (ha)	BAJA (ha)	
1	USAQUEN	0	0	0	
2	CHAPINERO	0	0	0	
3	SANTA FE	0	0	0	
4	SAN CRISTOBAL	0	0	0	
5	USME	0	0	0	
6	TUNJUELITO	0	0	0	
7	BOSA	0	0	0	
8	KENNEDY	0	0	0	
9	FONTIBON	0	0	0	
10	ENGATIVA	36	-14	22	Los cambios se dan por los diseños de los humedales de la EAB-ESP
11	SUBA	309	-2	39	Los cambios se dan por las obras diseñadas por la CAR para el río Bogotá entre el Humedal Juan Amarillo y el río Torca
12	BARRIOS UNIDOS	0	0	0	
13	TEUSAQUILLO	0	0	0	
14	LOS MARTIRES	0	0	0	
15	ANTONIO NARIÑO	0	0	0	
16	PUENTE ARANDA	0	0	0	
17	CANDELARIA	0	0	0	
18	RAFAEL URIBE URIBE	0	0	0	
19	CIUDAD BOLIVAR	0	0	0	
20	SUMAPAZ	0	0	0	
TOTAL		345	-16	61	

Figura 12.17. Zonificación de Amenaza por Inundación por Desbordamiento en perspectiva de cambio climático, para el escenario prospectivo

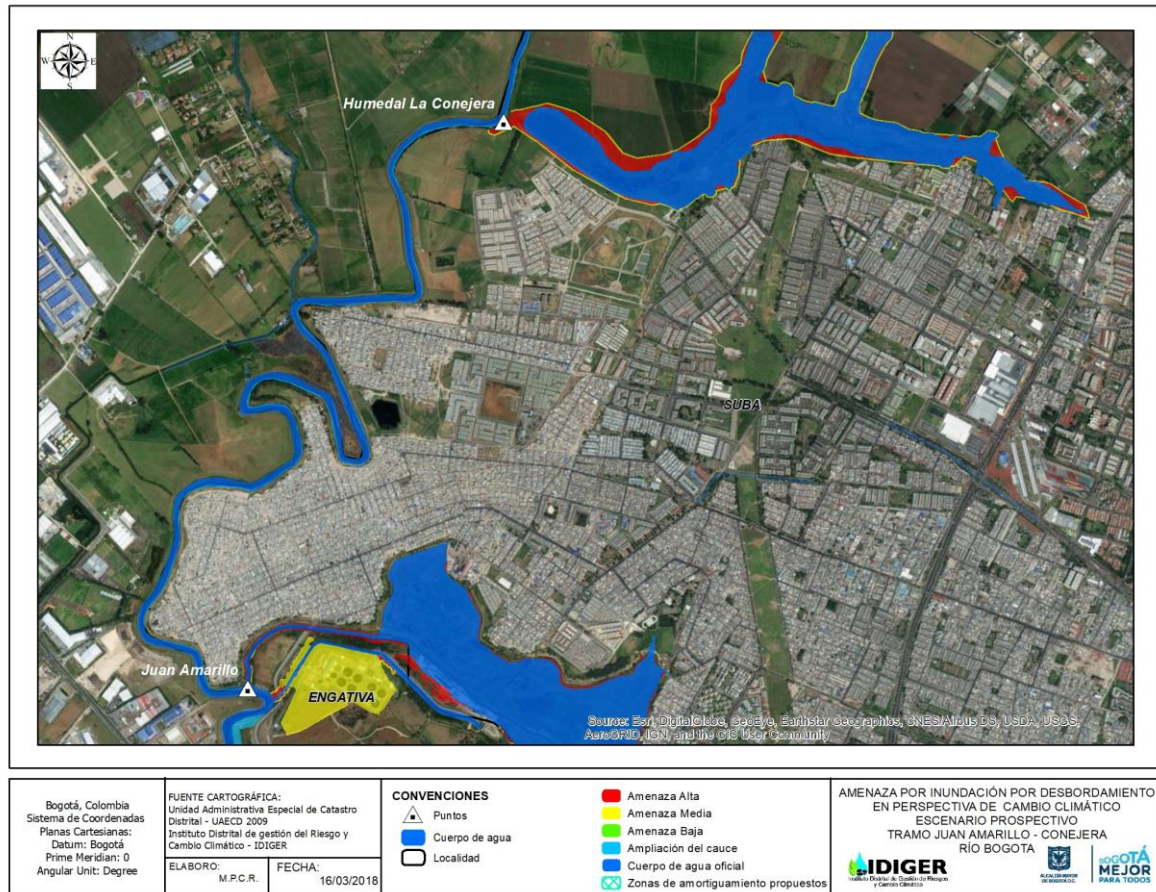


Teniendo en cuenta los resultados obtenidos y las obras de adecuación hidráulica y protecciones realizadas por la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR sobre el río Bogotá, para el escenario prospectivo se evidencia que no se presenta amenaza y/o riesgo por inundación por desbordamiento para un período de retorno de

Página 263 de 306

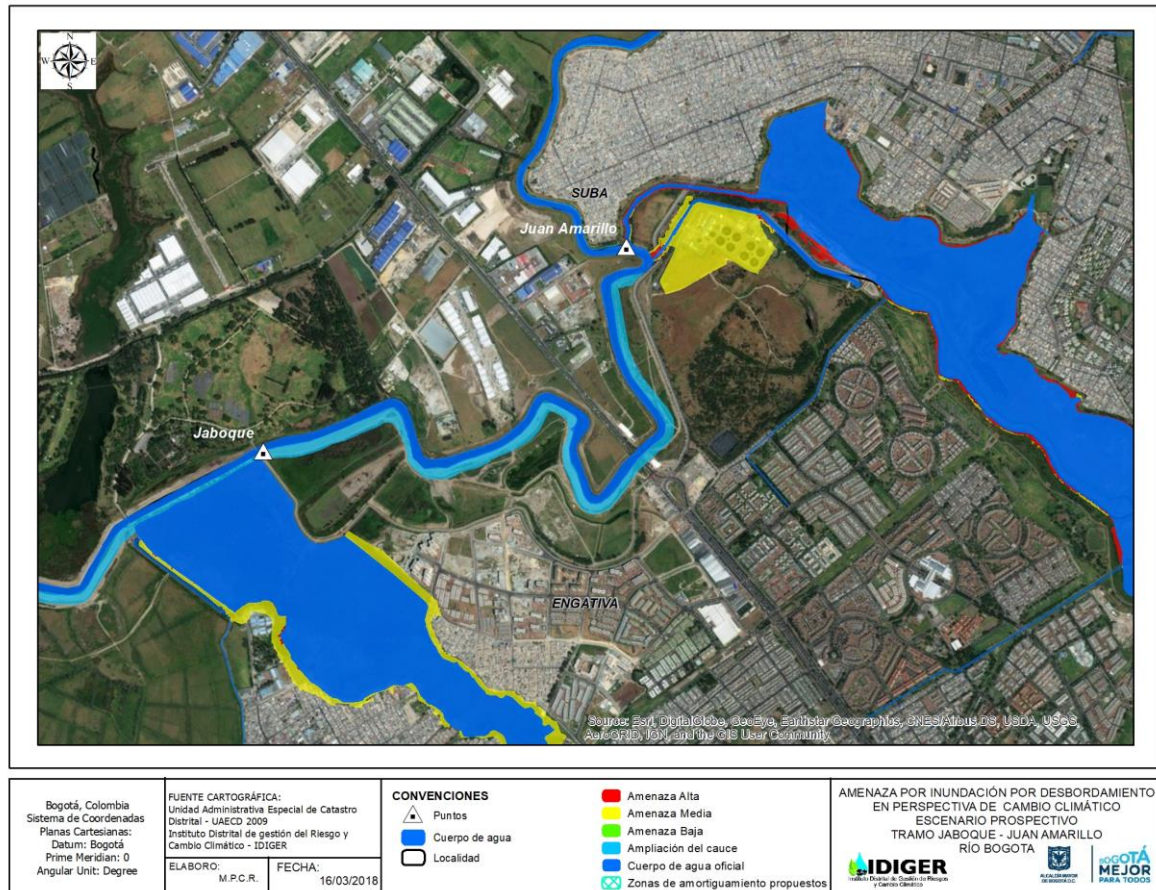
100 años, ya que los niveles máximos, de acuerdo con el escenario seleccionado quedan contenidos dentro de los cuerpos de agua, los cuales se definen como la sección hidráulica del cauce incluyendo las bermas de inundación realizadas en la adecuación hidráulica para aumentar la capacidad por lo anterior con este mapa se deberá realizar el ordenamiento territorial de la ciudad.

Figura 12.18. Zonificación de Amenaza Tramo Humedal La Conejera – Juan Amarillo



Según lo mencionado es necesario que la autoridad ambiental competente realice la nueva delimitación del río Bogotá acogiendo las obras de adecuación hidráulica con el fin de que las mismas sean incorporadas dentro del cuerpo de agua, adoptadas mediante cartografía oficial del IGAC y que los zonas de amortiguamiento o zonas multifuncionales seas delimitadas e incorporadas como un cuerpo de agua e integradas a la estructura ecológica principal.

Figura 12.19. Zonificación de Amenaza Tramo Juan Amarillo – Humedal Jaboque





90000

W

N

E

Juan Amarillo

Jaboque

Aeropuerto

ENGATIVA

FONTIBÓN

Source: Earth Satellite, Google Earth, Geographic, CNES Airbus DS, USA, USGS, AerialGRID, IGN, and the GIS User Community

90000

Bogotá, Colombia Sistema de Coordenadas Planas Cartesianas: Datum: Bogotá Prime Meridian: 0 Angular Unit: Degree	FUENTE CARTOGRÁFICA: Unidad Administrativa Especial de Catastro Distrital - UAEDC 2009 Instituto Distrital de gestión del Riesgo y Cambio Climático - IDIGER		CONVENCIONES ▲ Puntos ■ Cuerpo de agua □ Localidad	■ Amenaza Alta ■ Amenaza Media ■ Amenaza Baja ■ Ampliación del cauce ■ Cuerpo de agua oficial ■ Zonas de amortiguamiento propuestas	AMENAZA POR INUNDACIÓN POR DESBORDAMIENTO EN PERSPECTIVA DE CAMBIO CLIMÁTICO ESCENARIO PROSPECTIVO TRAMO AEROPUERTO - JABOQUE RÍO BOGOTÁ IDIGER Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático BOGOTÁ MEJOR PARA TODOS
	ELABORADO: M.P.C.R.	FECHA: 16/03/2018			

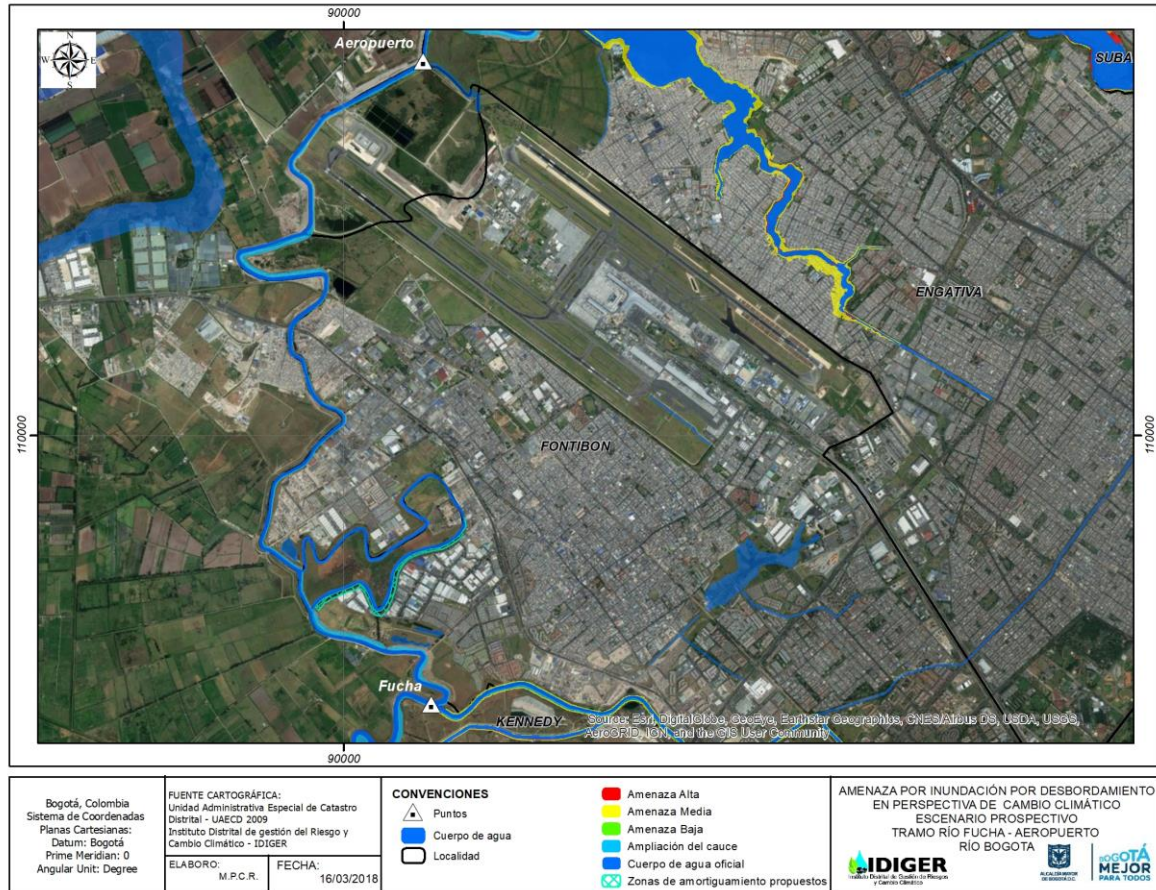


ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.

AMBIENTE

Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático

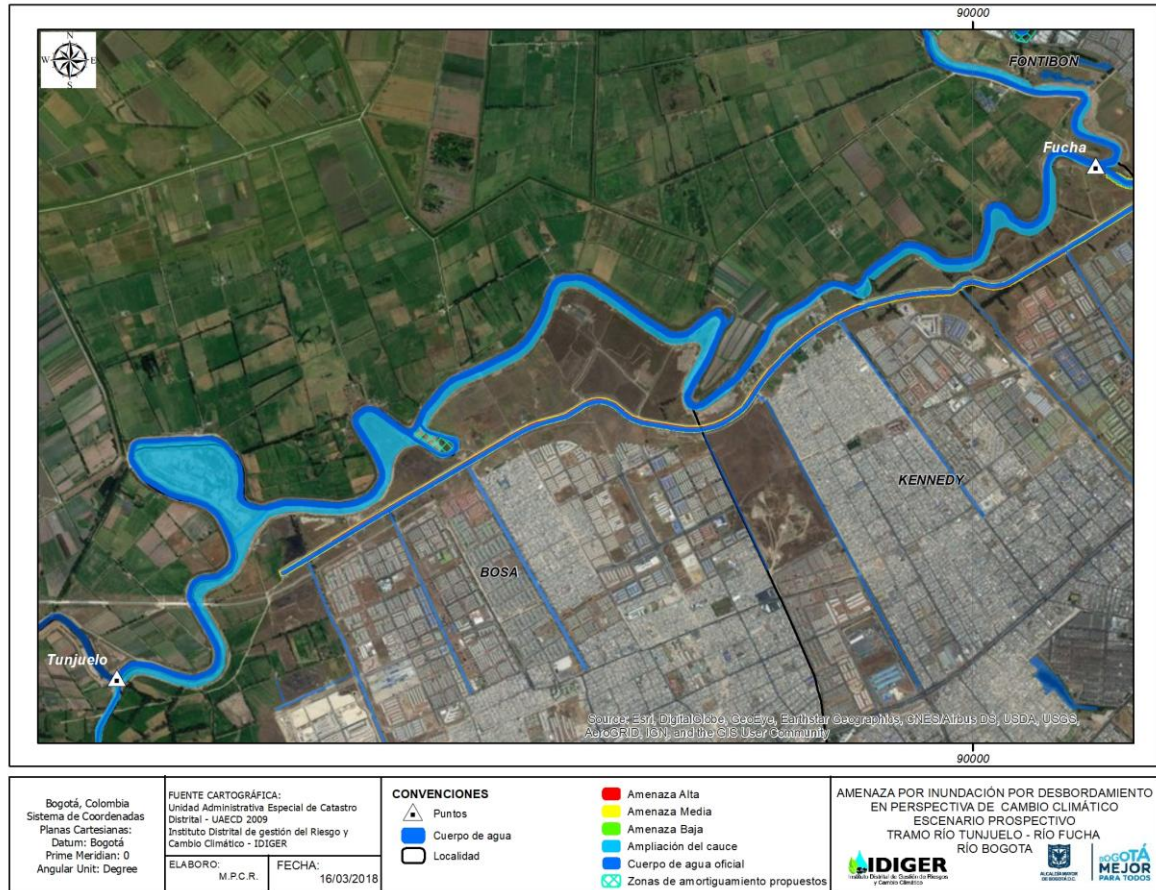
Figura 12.21. Zonificación de Amenaza Tramo Aeropuerto Fucha





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

Figura 12.22. Zonificación de Amenaza Tramo Fucha Tunjuelo.



13 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD JARILLONES RÍO BOGOTÁ

13.1 ANTECEDENTES

El análisis de estabilidad de taludes que se realizó en los jarillones del río Bogotá, están basados en los siguientes estudios y documentos de ejecución de obra:

- Estudios geotécnicos para la adecuación hidráulica del río Bogotá convenio interadministrativo 514 de 2007. Autores: Universidad Nacional – CAR.
- Informe final consultoría para la revisión integral de los diseños adecuación hidráulica del río Bogotá entre el sector de Alicachín municipio Soacha K0 + 000 y Puente La Virgen municipio de Cota K68+962 componente no. 2 del proyecto de adecuación hidráulica y restauración ambiental del río Bogotá en el marco de los eventos registrados en el periodo invernal de noviembre de 2010 y abril de 2011. Autor: HVM Ingenieros LTDA.
- Planos Record del Contrato de Obra 803 de 2012 con objeto: “Obras de adecuación hidráulica del río Bogotá en el tramo comprendido entre el sector Alicachín K0+000 a K40+000”. Autor: FCC CONSTRUCCIÓN S.A. SUCURSAL COLOMBIA.

13.2 CONSIDERACIONES

Se efectuaron las modelaciones de las secciones para la adecuación del río Bogotá realizado por la Universidad Nacional bajo las siguientes consideraciones:

- Entre las abscisas K0+000 y el K40+000 se tomaron las secciones de los planos record del contrato de obra de las adecuaciones hidráulicas del río Bogotá y la estratigrafía de los estudios de la Universidad Nacional, obteniendo de esta manera secciones actualizadas para los análisis de estabilidad de taludes.
- Entre las abscisas K40+000 y el K68+962, se tomaron las secciones de los planos de diseño realizado por la Universidad Nacional ya que en este tramo no se contó con los planos record de obra.
- De acuerdo con las recomendaciones del informe de revisión de HVM Ingenieros LTDA, se realizaron ajustes a los parámetros de resistencia del material que componen los jarillones del río Bogotá.
- Los parámetros que se emplearon en la modelación reflejan los posibles estados en el que se pueda llegar a encontrar el material en cuanto a saturación y desecación.
- El análisis probabilístico de los parámetros de resistencia del material con el que se construyó el jarillón fue el siguiente:

Tabla 13.1. Análisis probabilístico para el material JARILLÓN

PARÁMETRO	DISTRIBUCIÓN	VALOR PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR (σ)	INTERVALO DE VALORES ($3 \times \sigma$)
Cohesión	Normal	20 kPa	5	5 – 35 kPa
Angulo de fricción	Normal	20°	5	5 – 35 kPa

Fuente: Proyecto POT

La revisión y actualización se hizo con el fin de identificar y evaluar aspectos críticos en los siguientes tramos del río Bogotá:

Tabla 13.2. Secciones analizadas en el río Bogotá

Tramos		Modelaciones
Alicachín - Tunjuelo	22 tramos	21 secciones modeladas (1 sin jarillones)
Tunjuelo - Fucha	9 tramos	7 secciones modeladas (2 sin jarillones)
Fucha - La Conejera	18 tramos	15 secciones modeladas (3 sin jarillones)
La Conejera – Puente La Virgen	21 tramos	21 secciones modeladas
TOTAL		64 modelaciones

Fuente: Proyecto POT

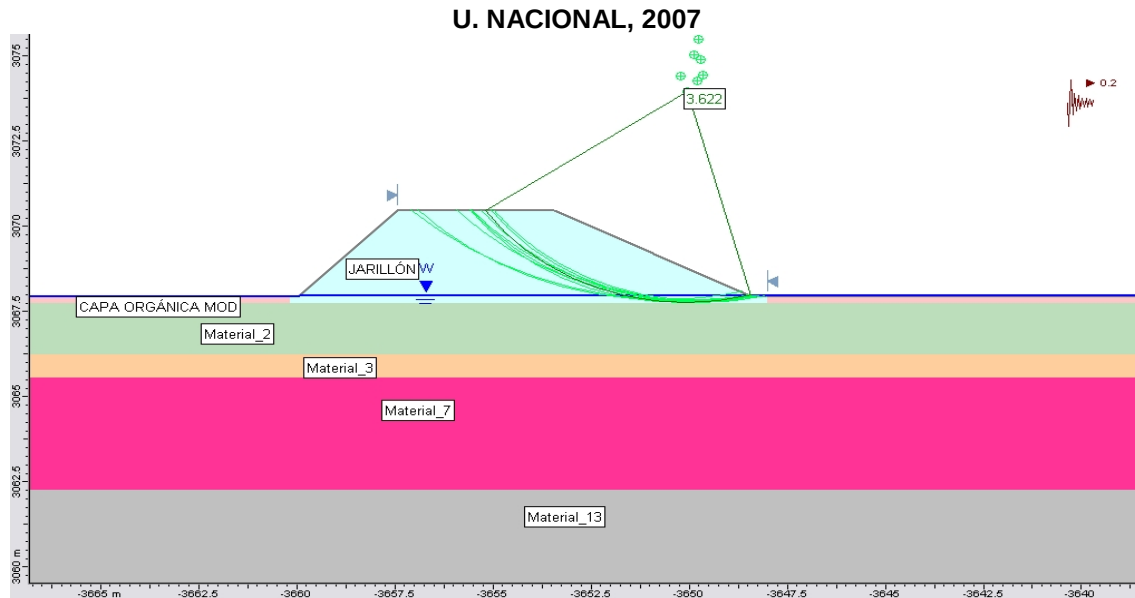
13.3 RESULTADOS

13.3.1 Tramo 1. (Alicachín - Tunjuelo) (K0+000 - K21+174)

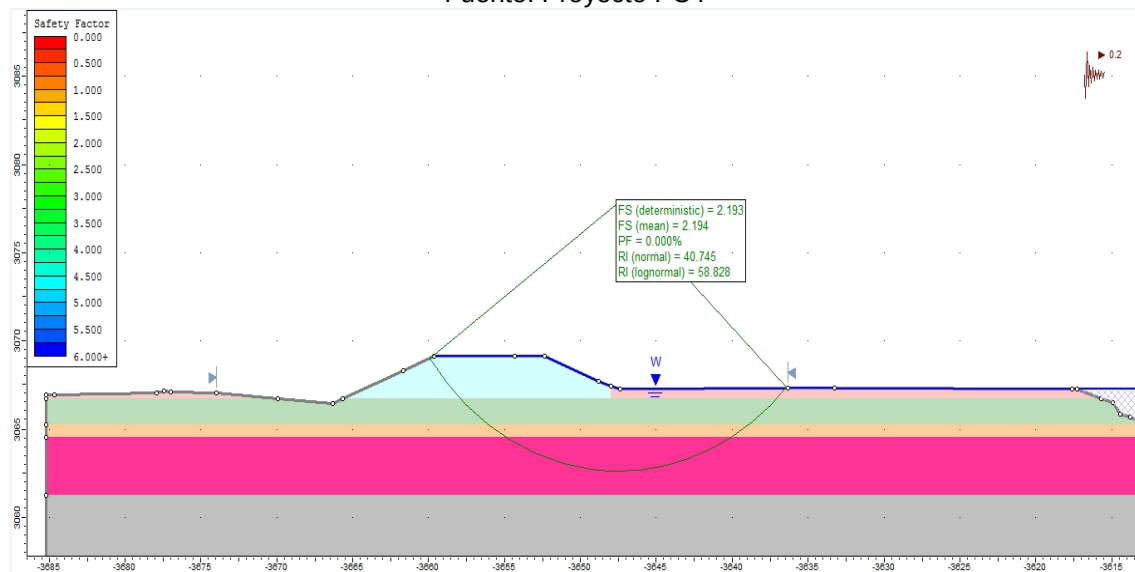
Este tramo básicamente, se modelo con la actualización de las secciones de los planos Record de obra. De este tramo se puede apreciar que los factores de seguridad son inferiores a los calculados en el estudio de la Universidad Nacional; lo anterior debido al análisis probabilístico donde se realiza una disminución en los valores de parámetros de resistencia (c, ϕ) basándose en las recomendaciones hechas por HMV, 2011.

A continuación, se muestra la analogía de análisis de secciones en el estudio de la U. Nacional frente al realizado en este estudio en donde el jarillón se encuentra en la margen izquierda (costado Bogotá), con una probabilidad de falla máxima de 2,90%:

Figura 13.1. SECTOR 1 – TRAMO 4 (K2+760 - K3+773)



Fuente: Proyecto POT



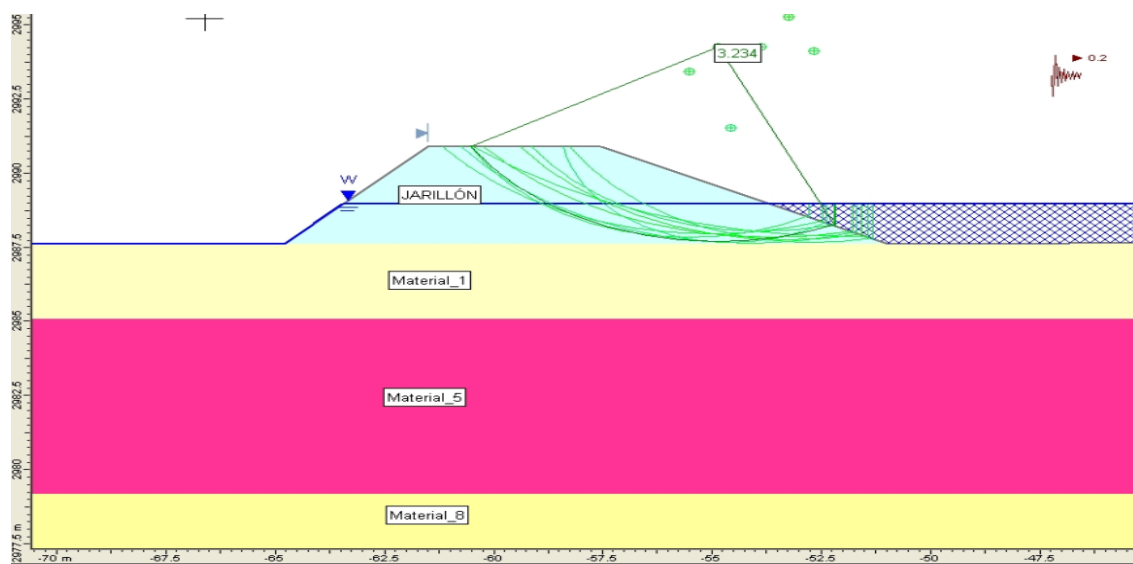
Fuente: Proyecto POT y Universidad Nacional 2007.

13.3.2 Tramo 2. (Tunjuelo - Fucha) (K21+174 - K35+239)

Este tramo se modeló con la actualización de las secciones de los planos Record de obra. De este tramo se puede apreciar que los factores de seguridad son inferiores a los calculados en el estudio de la Universidad Nacional; lo anterior debido al análisis probabilístico donde se realiza una disminución en los valores de parámetros de resistencia (c, ϕ) basándose en las recomendaciones hechas por HMV, 2011.

A continuación, se muestra la analogía de análisis de secciones en el estudio de la U. Nacional frente al realizado en este estudio en donde el jarillón se encuentra en la margen izquierda (costado Bogotá), con una probabilidad de falla máxima de 2,70%:

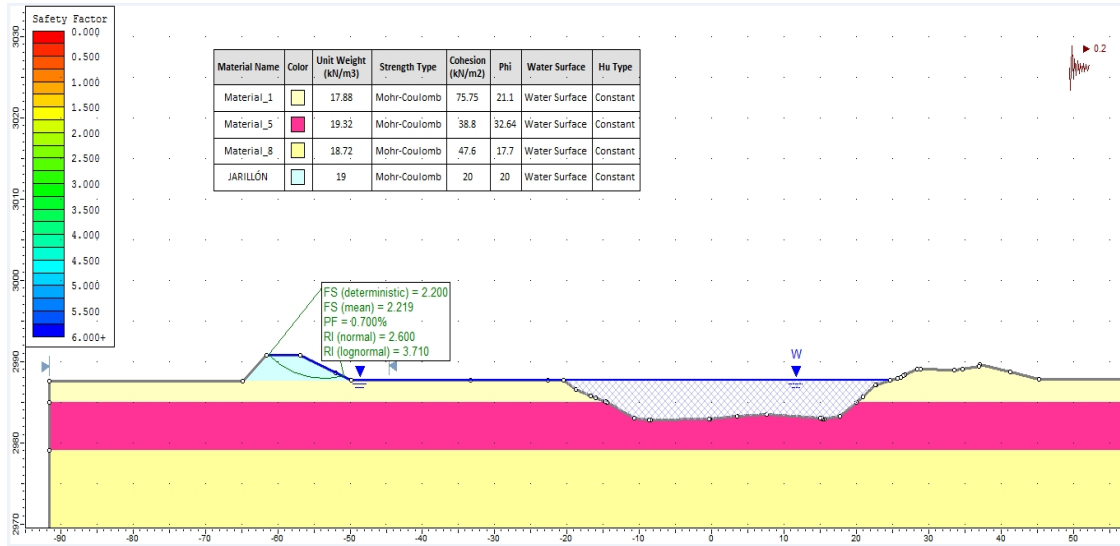
Figura 13.2. SECTOR 2 – TRAMO 18A (K21+174 - K23+058)



Fuente: Proyecto POT y Universidad Nacional 2007.



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

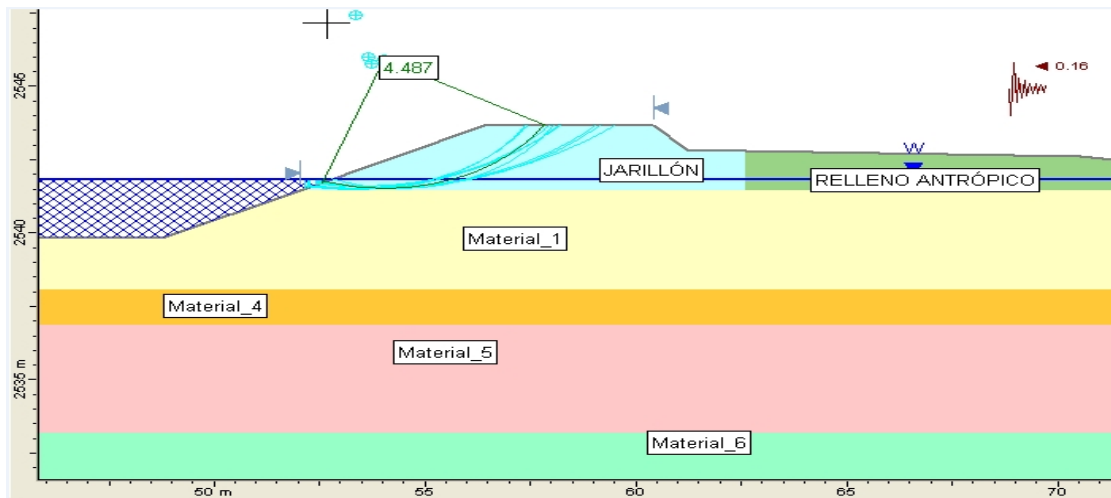


Fuente: Proyecto POT y Universidad Nacional 2007.

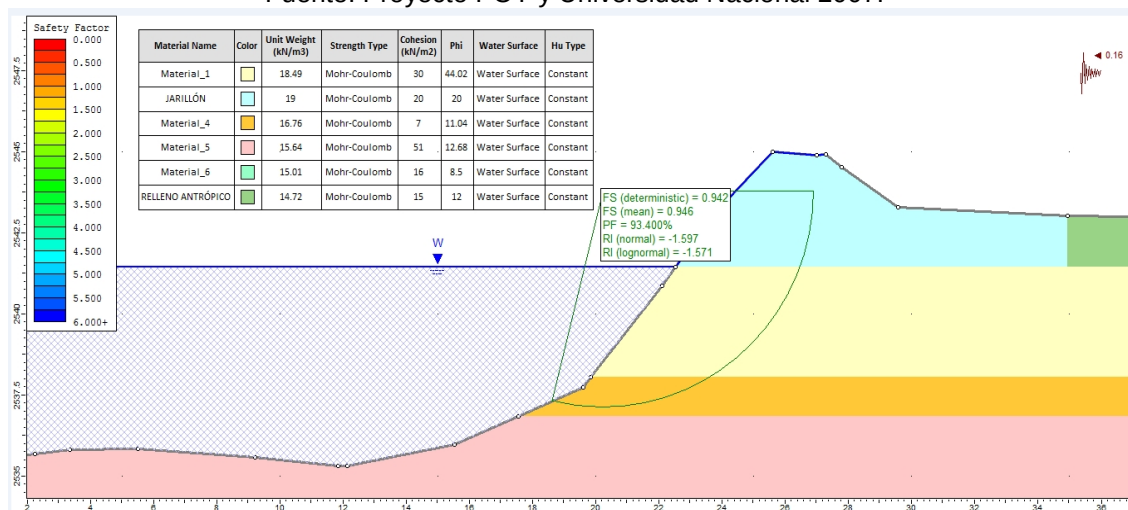
13.3.3 Tramo 3. (Fucha - La Conejera) (K35+239 - K58+350)

Este tramo se modelo con las secciones transversales empleadas en el diseño de la U. Nacional, debido a que no se contaba con las geometrías de los planos record. Cabe mencionar que en algunos tramos no coincidía la localización en planta frente a las secciones transversales en cuanto a la margen donde se plantea el jarillón. A continuación, se muestra la analogía de análisis de secciones en el estudio de la U. Nacional frente al realizado en este estudio en donde el jarillón se encuentra en la margen derecha predominantemente (costado Cundinamarca), con una probabilidad de falla máxima de 93,40%:

Figura 13.3. SECTOR 3 – TRAMO 916 (K36+018 - K36+937)



Fuente: Proyecto POT y Universidad Nacional 2007.

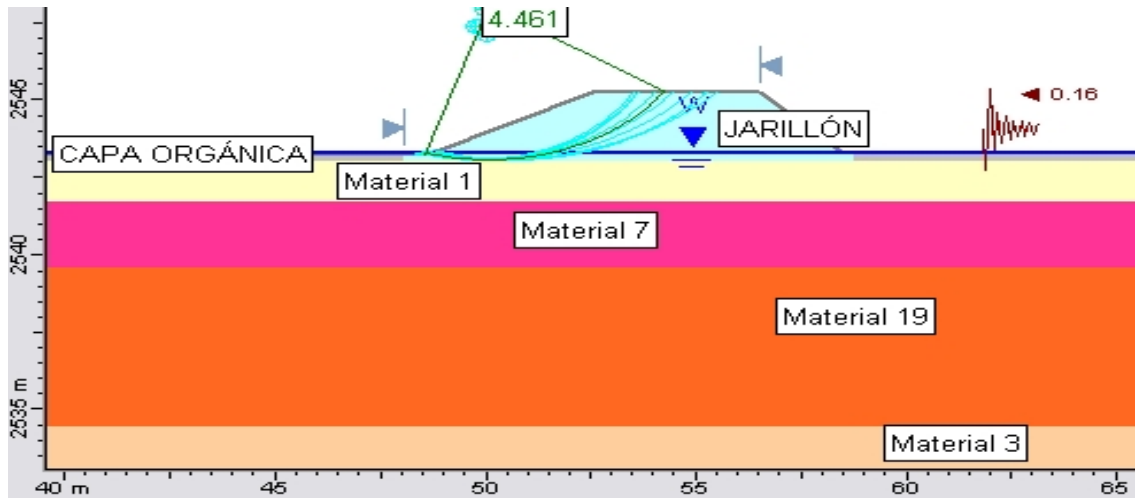


Fuente: Proyecto POT y Universidad Nacional 2007.

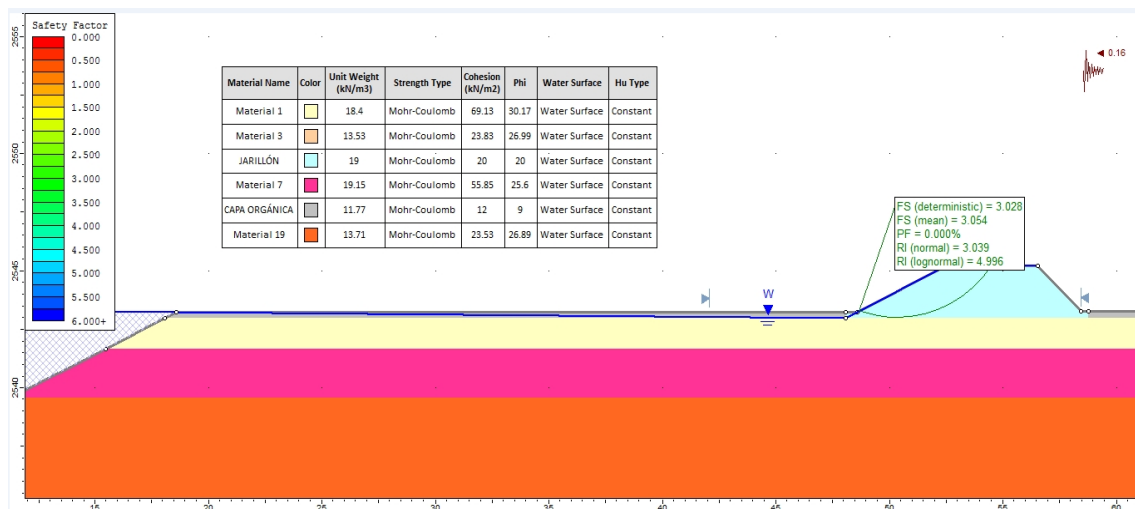
13.3.4 Tramo 4. (La Conejera – Puente La Virgen) (K58+350 - K69+972)

Este tramo se modeló con las secciones transversales empleadas en el diseño de la U. Nacional, debido a que no se contaba con las geometrías de los planos record. Cabe mencionar que en algunos tramos no coincidía la localización en planta frente a las secciones transversales en cuanto a la margen donde se plantea el jarillón. A continuación, se muestra la analogía de análisis de secciones en el estudio de la U. Nacional frente al realizado en este estudio en donde el jarillón se encuentra en la margen derecha predominantemente (costado Cundinamarca), con una probabilidad de falla máxima de 2,40%:

Figura 13.4. SECTOR 4 – TRAMO 884 (K66+616 - K66+965)



Fuente: Proyecto POT y Universidad Nacional 2007.



Fuente: Proyecto POT y Universidad Nacional 2007.

13.3.5 Tabla resumen de resultados del análisis de estabilidad de los diques perimetrales del río Bogotá

Tabla 13.3. Tabla resumen análisis de estabilidad y probabilístico

SECTOR	# TRAMO	Abscisa CAR		Sección Típica	Factor de Seguridad U. Nacional		Material Subyace	Factor de Seguridad con Análisis probabilístico			OBSERVACIONES	
		Desde	Hasta		Estático	Dinámico		Estático	Dinámico	Probabilidad		
1	ALICACHÍN TUNJUELO	41	K0+275	K1+310	K0+822	2,965	1,541	12	7,550	2,090	0,00%	CASO 1 *Margen izquierda (Costado de Bogotá) *Con geometría de construcción
		1	K1+310	K1+508	K1+465	5,642	3,662	16	4,090	1,540	0,00%	CASO 1 *Margen izquierda (Costado de Bogotá) *Con geometría de construcción
		2	K1+508	K2+320	K1+856	5,355	2,811	2	4,670	2,618	0,00%	CASO 1 *Margen izquierda (Costado de Bogotá) * Con geometría de construcción
		3	K2+320	K2+760	K2+665	5,653	3,176	16	4,726	3,039	0,00%	CASO 1 *Margen izquierda (Costado de Bogotá) *Con geometría de construcción
		4	K2+760	K3+773	K3+453	5,434	2,137	2	4,760	2,194	0,00%	CASO 1 *Margen izquierda (Costado de Bogotá) *Con geometría de construcción
		5	K3+773	K3+943	K3+863	5,364	3,129	16	3,840	2,240	0,40%	CASO 1 *Margen izquierda (Costado de Bogotá) *Con geometría de construcción



**ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.**

AMBIENTE
Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático

SECTOR	# TRAMO	Abscisa CAR		Sección Típica	Factor de Seguridad U. Nacional		Material Subyace	Factor de Seguridad con Análisis probabilístico			OBSERVACIONES	
		Desde	Hasta		Estático	Dinámico		Estático	Dinámico	Probabilidad		
	7	K3+943	K5+313	K4+476	4,303	2,282	2	2,620	1,560	0,00%	CASO 1	*Margen izquierda (Costado de Bogotá) *Con geometría de construcción
	8	K5+313	K6+487	K6+055	6,255	3,130	2	5,265	2,478	0,00%	CASO 1	*Margen izquierda (Costado de Bogotá) *Con geometría de construcción
	9	K6+487	K7+595	K7+146	7,121	3,370	16	3,700	2,100	0,90%	CASO 1	*Margen izquierda (Costado de Bogotá) *Con geometría de construcción
	10	K7+595	K9+364	K8+871	4,002	2,229	1	2,590	1,490	0,00%	CASO 1	*Margen izquierda (Costado de Bogotá) *Con geometría de construcción
	11	K9+364	K10+221	K10+035	4,288	2,195	2	SECCIÓN SIN JARILLÓN			CASO 1	*Margen izquierda (Costado de Bogotá) *Con geometría de construcción
	11 A	K10+221	K10+873	K10+593	4,236	2,273	2	3,371	1,869	0,00%	CASO 1	*Margen izquierda (Costado de Bogotá) *Con geometría de construcción





**ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.**

AMBIENTE
Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático

SECTOR	# TRAMO	Abscisa CAR		Sección Típica	Factor de Seguridad U. Nacional		Material Subyace	Factor de Seguridad con Análisis probabilístico			OBSERVACIONES	
		Desde	Hasta		Estático	Dinámico		Estático	Dinámico	Probabilidad		
	13 A	K10+87 3	K11+552	K11+064	5,805	3,903	14	3,330	1,990	1,10%	CASO 1	*Margen izquierda (Costado de Bogotá) *Con geometría de construcción
	13	K11+55 2	K13+456	K11+806			14	4,000	2,590	0,10%	CASO 1	*Margen izquierda (Costado de Bogotá) *Con geometría de construcción
	14	K13+45 6	K15+368	K14+590	6,989	2,963	16	2,830	2,030	0,00%	CASO 1	*Margen izquierda (Costado de Bogotá) *Con geometría de construcción
	15	K15+36 8	K16+650	K15+984	5,663	3,294	2	3,650	2,050	0,80%	CASO 1	*Margen izquierda (Costado de Bogotá) *Con geometría de construcción
	16	K16+65 0	K17+698	K17+360	3,554	2,019	1	2,310	1,360	2,20%	CASO 1	*Margen izquierda (Costado de Bogotá) *Con geometría de construcción





**ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.**

AMBIENTE
Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático

SECTOR	# TRAMO	Abscisa CAR		Sección Típica	Factor de Seguridad U. Nacional		Material Subyace	Factor de Seguridad con Análisis probabilístico			OBSERVACIONES	
		Desde	Hasta		Estático	Dinámico		Estático	Dinámico	Probabilidad		
	16 A	K17+69 8	K18+601	K18+212			3	2,530	1,630	2,70%	CASO 1	*Margen izquierda (Costado de Bogotá) *Con geometría de construcción
	17	K18+60 1	K19+428	K18+991	5,828	3,874	16	3,000	1,780	2,00%	CASO 1	*Margen izquierda (Costado de Bogotá) *Con geometría de construcción
	17 A	K19+42 8	K20+263	K19+578	5,840	3,190	3	2,640	1,710	2,90%	CASO 1	*Margen izquierda (Costado de Bogotá) *Con geometría de construcción
	18	K20+26 3	K21+174	K20+772	3,251	1,898	1	2,340	1,510	0,00%	CASO 1	*Margen izquierda (Costado de Bogotá) *Con geometría de construcción
2	TUNJUELO LUCHA 18 A	K21+17 4	K23+058	K21+967	5,110	3,234	1	3,470	2,210	0,70%	CASO 1	*Margen izquierda (Costado de Bogotá) *Con geometría de construcción





**ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.**

AMBIENTE
Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático

SECTOR	# TRAMO	Abscisa CAR		Sección Típica	Factor de Seguridad U. Nacional		Material Subyace	Factor de Seguridad con Análisis probabilístico			OBSERVACIONES	
		Desde	Hasta		Estático	Dinámico		Estático	Dinámico	Probabilidad		
	19	K23+05 8	K23+625	K23+576	5,362	1,170	1	SECCIÓN SIN JARILLÓN			CASO 1	*Margen izquierda (Costado de Bogotá) *Con geometría de construcción
	20	K23+62 5	K24+945	K23+964	6,050	3,101	1	SECCIÓN SIN JARILLÓN			CASO 1	*Margen izquierda (Costado de Bogotá) *Con geometría de construcción
	21	K24+94 5	K28+097	K25+683	4,980	3,219	1	3,430	2,040	1,00%	CASO 1	*Margen izquierda (Costado de Bogotá) *Con geometría de construcción
	22	K28+09 7	K29+717	K29+058	4,991	3,212	6	3,370	2,090	0,70%	CASO 1	*Margen izquierda (Costado de Bogotá) *Con geometría de construcción
	23	K29+71 7	K31+173	K30+362	4,857	2,516	1	2,720	1,690	2,70%	CASO 1	*Margen izquierda (Costado de Bogotá) *Con geometría de construcción





**ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.**

AMBIENTE
Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático

SECTOR		# TRAMO	Abscisa CAR		Sección Típica	Factor de Seguridad U. Nacional		Material Subyace	Factor de Seguridad con Análisis probabilístico			OBSERVACIONES	
			Desde	Hasta		Estático	Dinámico		Estático	Dinámico	Probabilidad		
		24	K31+17 3	K32+173	K31+895	4,931	3,111	1	2,887	1,818	2,10%	CASO 1	*Margen izquierda (Costado de Bogotá) *Con geometría de construcción
		25	K32+17 3	K33+112	K32+785	5,150	3,247	1	2,770	1,900	1,70%	CASO 1	*Margen izquierda (Costado de Bogotá) *Con geometría de construcción
		26	K33+11 2	K35+239	K34+551	5,642	3,290	1	3,630	1,920	0,00%	CASO 1	*Margen izquierda (Costado de Bogotá) *Con geometría de construcción
3	FUCHA-LA CONEJERA	91 7	K35+23 9	K36+018	K35+523	3,156	1,977	7	2,650	1,890	0,00%	CASO 1	*Margen izquierda (Costado de Bogotá) *Con geometría de construcción
		91 6	K36+01 8	K36+937	K36+367	3,961	2,377	1	1,250	0,940	93,40%	CASO 2	* Margen derecha (Costado de Cundinamarca) * Con geometría de construcción





**ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.**

AMBIENTE
Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático

SECTOR	# TRAMO	Abscisa CAR		Sección Típica	Factor de Seguridad U. Nacional		Material Subyace	Factor de Seguridad con Análisis probabilístico			OBSERVACIONES	
		Desde	Hasta		Estático	Dinámico		Estático	Dinámico	Probabilidad		
	91 5	K36+93 7	K37+720	K37+235	3,040	1,746	1	2,718	1,621	0,00%	CASO 2	* Margen derecha (Costado de Cundinamarca) * Con geometría de construcción
	91 4	K37+72 0	K39+823	K39+269	5,322	2,764	17	2,750	1,897	0,00%	CASO 2	* Margen derecha (Costado de Cundinamarca) * Con geometría de construcción
	91 3	K39+82 3	K41+479	K40+707	2,695	1,596	7	2,078	1,318	0,00%	CASO 3	* Margen derecha (Costado de Cundinamarca) * Sin geometría de construcción (geometría de diseño)
	91 2	K41+47 9	K43+449	K42+612	2,849	1,876	6	1,671	1,293	0,00%	CASO 3	* Margen izquierda (Costado de Bogotá) * Sin geometría de construcción
	91 1	K43+44 9	K45+775	K43+654	2,148	1,331	7	1,508	1,024	35,20%	CASO 3	* Margen derecha (Costado de Cundinamarca) * Sin geometría de construcción (geometría de diseño)





**ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.**

AMBIENTE
Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático

SECTOR	# TRAMO	Abscisa CAR		Sección Típica	Factor de Seguridad U. Nacional		Material Subyace	Factor de Seguridad con Análisis probabilístico			OBSERVACIONES
		Desde	Hasta		Estático	Dinámico		Estático	Dinámico	Probabilidad	
	91 0	K45+77 5	K47+338	K46+225	4,08	2,336	N.A.	NO EXISTE JARILLÓN			CASO 4 * No existe jarillón en ninguna de las Márgenes
	90 9	K47+33 8	K48+776	K47+916	3,996	2,495	1	3,143	2,048	0,00%	CASO 5 * No coincide la localización del jarillón en la sección transversal y el plano de planta. En la planta aparece en la Margen izquierda y en la sección en la Margen derecha. * Sin geometría de construcción (geometría de diseño)
	90 8	K48+77 6	K50+062	K49+656	3,313	2,128	N.A.	NO EXISTE JARILLÓN			CASO 5 * No coincide la localización del jarillón en la sección transversal y el plano de planta. En la planta aparece en la Margen izquierda y en la sección no hay jarillón. * Sin geometría de construcción (geometría de diseño)
	90 7	K50+06 2	K51+207	K50+799	5,51	3,623	7	4,137	2,960	0,00%	CASO 5 * No coincide la localización del jarillón en la sección transversal y el plano de planta. En la planta aparece en la Margen izquierda y en la sección en la Margen derecha. * Sin geometría de construcción (geometría de diseño)





**ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.**

AMBIENTE
Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático

SECTOR	# TRAMO	Abscisa CAR		Sección Típica	Factor de Seguridad U. Nacional		Material Subyace	Factor de Seguridad con Análisis probabilístico			OBSERVACIONES
		Desde	Hasta		Estático	Dinámico		Estático	Dinámico	Probabilidad	
	90 6	K51+20 7	K52+083	K51+688	3,378	2,218	1	2,722	2,019	0,00%	CASO 5 * No coincide la localización del jarillón en la sección transversal y el plano de planta. En la planta aparece en la Margen izquierda y en la sección en la Margen derecha. * Sin geometría de construcción (geometría de diseño)
	90 6A	K52+08 3	K52+714	K52+249	2,47	1,488	N.A.	NO EXISTE JARILLÓN			CASO 4 * No existe jarillón en ninguna de las Margenes
	90 5	K52+71 4	K53+571	K53+363	3,653	2,146	7	2,711	1,691	0,00%	CASO 3 * Margen derecha (Costado de Cundinamarca) * Sin geometría de construcción (geometría de diseño)
	90 4	K53+57 1	K54+718	K53+974	5,074	2,569	17	3,777	2,155	0,00%	CASO 3 * Margen derecha (Costado de Cundinamarca) * Sin geometría de construcción (geometría de diseño)
	90 3	K54+71 8	K55+939	K55+271	4,978	3,009	14	3,974	2,498	0,00%	CASO 3 * Margen derecha (Costado de Cundinamarca) * Sin geometría de construcción (geometría de diseño)





**ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.**

AMBIENTE
Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático

SECTOR	# TRAMO	Abscisa CAR		Sección Típica	Factor de Seguridad U. Nacional		Material Subyace	Factor de Seguridad con Análisis probabilístico			OBSERVACIONES	
		Desde	Hasta		Estático	Dinámico		Estático	Dinámico	Probabilidad		
4		90 2	K55+93 9	K56+602	K56+126	5,901	3,908	11	4,531	3,116	0,00%	CASO 3 * Margen derecha (Costado de Cundinamarca) * Sin geometría de construcción (geometría de diseño)
		90 1	K56+60 2	K58+350	K57+696	5,461	3,608	1	3,402	2,291	0,00%	CASO 3 * Margen derecha (Costado de Cundinamarca) * Sin geometría de construcción (geometría de diseño)
	CONEJERA - PUENTE LA VIRGEN	90 0	K58+35 0	K59+048	K58+722	6,619	4,157	1	4,437	2,994	0,00%	CASO 3 * Margen derecha (Costado de Cundinamarca) * Sin geometría de construcción (geometría de diseño)
		89 9	K59+04 8	K59+353	K59+075	7,039	3,803	7	4,815	3,467	0,00%	CASO 3 * Margen derecha (Costado de Cundinamarca) * Sin geometría de construcción (geometría de diseño)
		89 8	K59+35 3	K59+605	K59+514	7,299	4,015	7	5,199	3,447	0,00%	CASO 3 * Margen derecha (Costado de Cundinamarca) * Sin geometría de construcción (geometría de diseño)





**ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.**

AMBIENTE
Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático

SECTOR	# TRAMO	Abscisa CAR		Sección Típica	Factor de Seguridad U. Nacional		Material Subyace	Factor de Seguridad con Análisis probabilístico			OBSERVACIONES	
		Desde	Hasta		Estático	Dinámico		Estático	Dinámico	Probabilidad		
	89 7	K59+60 5	K60+203	K59+682	6,645	3,977	1	4,405	3,095	0,00%	CASO 3	* Margen derecha (Costado de Cundinamarca) * Sin geometría de construcción (geometría de diseño)
	89 6	K60+20 3	K60+550	K60+478	5,178	3,538	7	3,344	2,278	0,70%	CASO 3	* Margen derecha (Costado de Cundinamarca) * Sin geometría de construcción (geometría de diseño)
	89 5	K60+55 0	K60+849	K60+630	5,169	3,6	6	3,915	2,705	0,00%	CASO 3	* Margen derecha (Costado de Cundinamarca) * Sin geometría de construcción (geometría de diseño)
	89 4	K60+84 9	K61+199	K61+021	5,023	3,237	10	3,863	2,608	0,00%	CASO 3	* Margen derecha (Costado de Cundinamarca) * Sin geometría de construcción (geometría de diseño)
	89 3	K61+19 9	K61+596	K61+486	5,337	3,548	7	3,541	2,456	0,30%	CASO 3	* Margen derecha (Costado de Cundinamarca) * Sin geometría de construcción (geometría de diseño)





**ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.**

AMBIENTE
Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático

SECTOR	# TRAMO	Abscisa CAR		Sección Típica	Factor de Seguridad U. Nacional		Material Subyace	Factor de Seguridad con Análisis probabilístico			OBSERVACIONES	
		Desde	Hasta		Estático	Dinámico		Estático	Dinámico	Probabilidad		
	89 2	K61+59 6	K64+025	K61+988	5,483	4,058	7	3,692	2,631	0,00%	CASO 3	* Margen derecha (Costado de Cundinamarca) * Sin geometría de construcción (geometría de diseño)
	89 1	K64+02 5	K64+533	K64+212	6,606	3,963	1	4,425	3,032	0,00%	CASO 3	* Margen derecha (Costado de Cundinamarca) * Sin geometría de construcción (geometría de diseño)
	89 0	K64+53 3	K65+031	K64+763	3,307	2,024	17	2,742	1,742	0,00%	CASO 3	* Margen derecha (Costado de Cundinamarca) * Sin geometría de construcción (geometría de diseño)
	88 9	K65+03 1	K65+278	K65+266	3,997	2,542	3	2,527	1,768	2,40%	CASO 3	* Margen derecha (Costado de Cundinamarca) * Sin geometría de construcción (geometría de diseño)
	88 8	K65+27 8	K65+523	K65+517	4,631	3,002	1	2,664	1,873	2,10%	CASO 3	* Margen derecha (Costado de Cundinamarca) * Sin geometría de construcción (geometría de diseño)





**ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.**

AMBIENTE
Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático

SECTOR	# TRAMO	Abscisa CAR		Sección Típica	Factor de Seguridad U. Nacional		Material Subyace	Factor de Seguridad con Análisis probabilístico			OBSERVACIONES	
		Desde	Hasta		Estático	Dinámico		Estático	Dinámico	Probabilidad		
	88 7	K65+52 3	K66+116	K65+964	4,887	3,087	6	3,743	2,483	0,00%	CASO 3	* Margen derecha (Costado de Cundinamarca) * Sin geometría de construcción (geometría de diseño)
	88 6	K66+11 6	K66+365	K66+189	5,38	3,639	5	3,523	2,452	0,40%	CASO 3	* Margen derecha (Costado de Cundinamarca) * Sin geometría de construcción (geometría de diseño)
	88 5	K66+36 5	K66+616	K66+383	5,807	4,098	5	4,637	3,131	0,00%	CASO 3	* Margen derecha (Costado de Cundinamarca) * Sin geometría de construcción (geometría de diseño)
	88 4	K66+61 6	K66+965	K66+778	6,461	4,04	1	4,404	3,054	0,00%	CASO 3	* Margen derecha (Costado de Cundinamarca) * Sin geometría de construcción (geometría de diseño)
	88 3	K66+96 5	K67+366	K67+344	3,702	1,919	2	3,382	1,895	0,00%	CASO 3	* Margen derecha (Costado de Cundinamarca) * Sin geometría de construcción (geometría de diseño)





**ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.**

AMBIENTE
Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático

SECTOR	# TRAMO	Abscisa CAR		Sección Típica	Factor de Seguridad U. Nacional		Material Subyace	Factor de Seguridad con Análisis probabilístico			OBSERVACIONES	
		Desde	Hasta		Estático	Dinámico		Estático	Dinámico	Probabilidad		
	88 2	K67+36 6	K68+019	K67+488	4,449	2,809	5	3,467	2,175	0,00%	CASO 3	* Margen derecha (Costado de Cundinamarca)* Sin geometría de construcción (geometría de diseño)
	88 1	K68+01 9	K68+967	K68+619	3,913	2,162	17	3,258	1,893	0,00%	CASO 3	* Margen derecha (Costado de Cundinamarca) * Sin geometría de construcción (geometría de diseño)
	88 0	K68+96 7	K69+972	K69+465	8,718	3,995	1	5,731	3,986	0,00%	CASO 5	* No coincide la localización del jarillón en la sección transversal y el plano de planta. En la planta aparece en la Margen izquierda y en la sección en la Margen derecha. * Sin geometría de construcción (geometría de diseño)

Fuente: Proyecto POT



GP-CER453487



CO-SC-CER453486



CO-SC-CER453486



CO-SA-CER453487

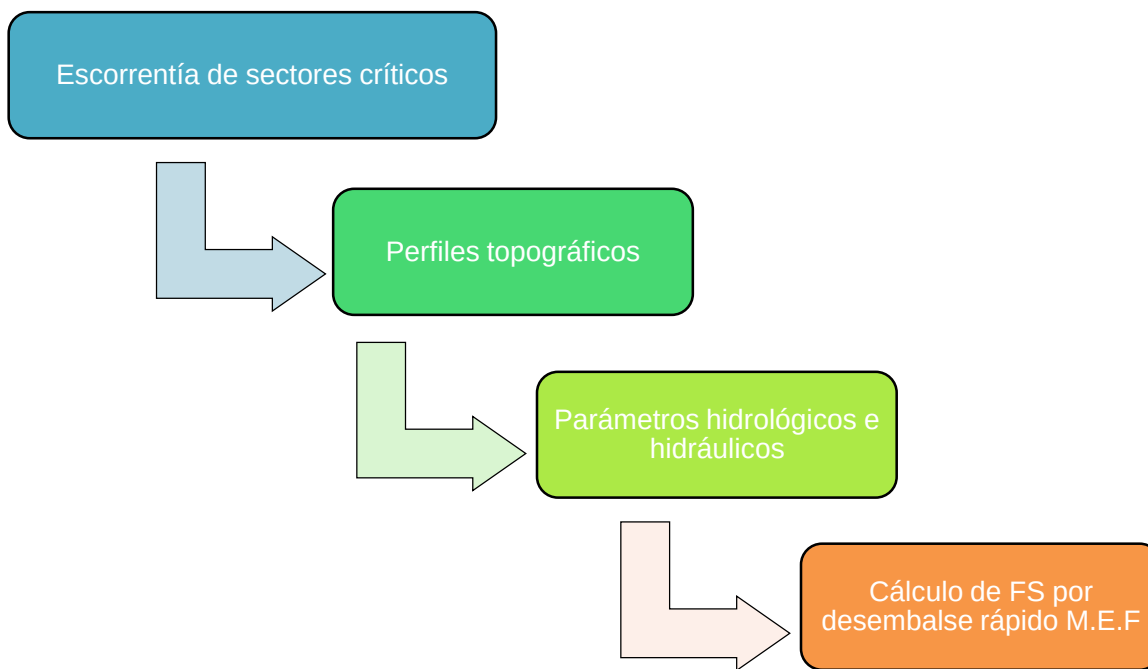
Certificado N° CO-SC-CER453496
Certificado N° CO-SA-CER453497
Certificado N° GP-CER453497

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

14 ANÁLISIS POR DESEMBALSE RÁPIDO

Dentro del análisis por inundaciones, se tiene la inquietud sobre la estabilidad de los jarillones del río Bogotá por efectos de una posible condición de desembalse rápido. Por lo anterior, se escogieron cinco sectores críticos del río, para realizar la evaluación del factor de seguridad por desembalse rápido. El flujo de trabajo general se presenta en la Figura 1. El flujo de trabajo se define mediante cuatro actividades: la primera es escoger los sectores críticos donde se realizará la simulación. Escogidos estos sectores, se generan los perfiles topográficos incluyendo el río, sus dos márgenes y la geometría del jarillón. La siguiente etapa requiere determinar las propiedades mecánicas de los materiales del jarillón y de los materiales del subsuelo. Para las fases intermedias, se han adoptado los datos topográficos y geotécnicos del convenio Interadministrativo 514 de 2007 entre la Universidad Nacional de Colombia y la CAR. Finalmente, se escoge un modelo numérico adecuado para predecir el factor de seguridad por deslizamiento.

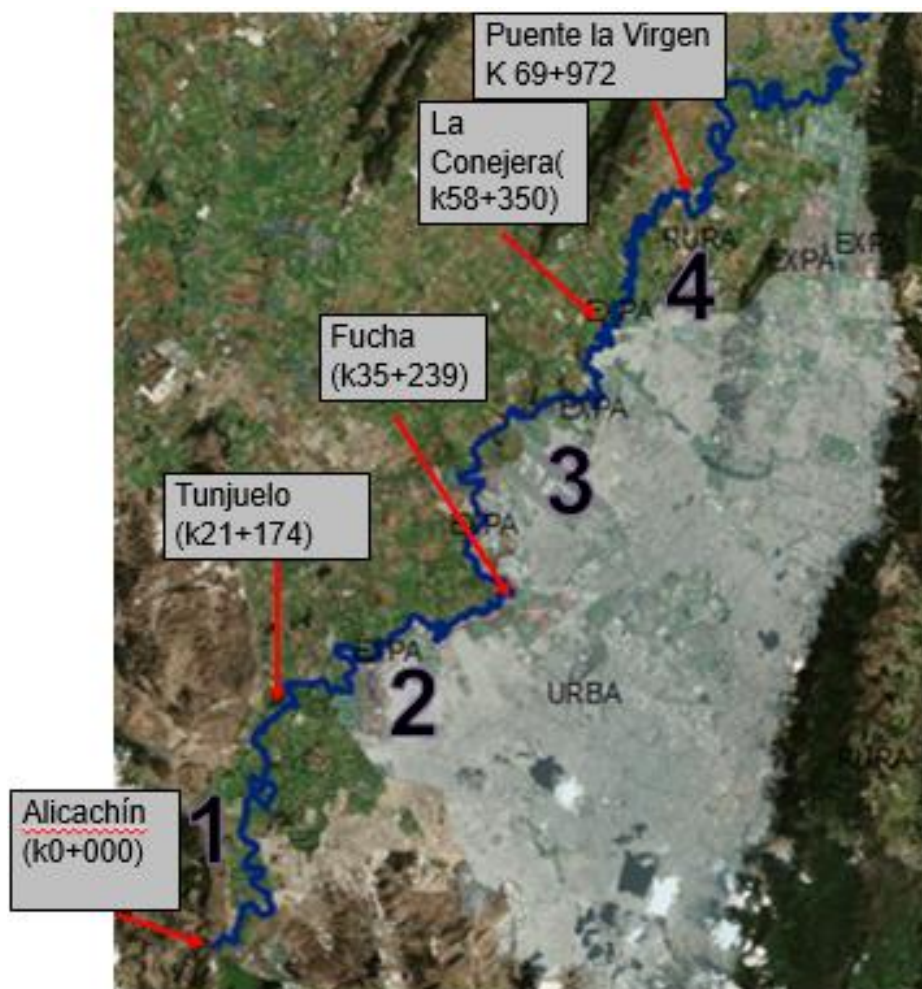
Figura 14.1. Flujo de trabajo para la determinación de la estabilidad por desembalse rápido.



Fuente: Proyecto POT

En la Figura 14.1, se presentan los cuatro sectores del río Bogotá desde el punto de vista geotécnico. A partir de estos sectores el grupo de hidráulica y geotecnia del proyecto POT, determino las siguientes abscisas como sectores críticos (Ver Tabla 14.1).

Figura 14.2. Sectores geotécnicamente homogéneos a lo largo del río Bogotá.



Fuente: Proyecto POT

Tabla 14.1 Abscisas de los sectores críticos escogidos para la simulación.

Sector	Tramo	Abscisa
1	18	K 20 + 772
2	18A	K 21 + 967
3	23	K 30 + 362
2	26	K 34 + 551
3	916	K 36 + 367

Fuente: Proyecto POT



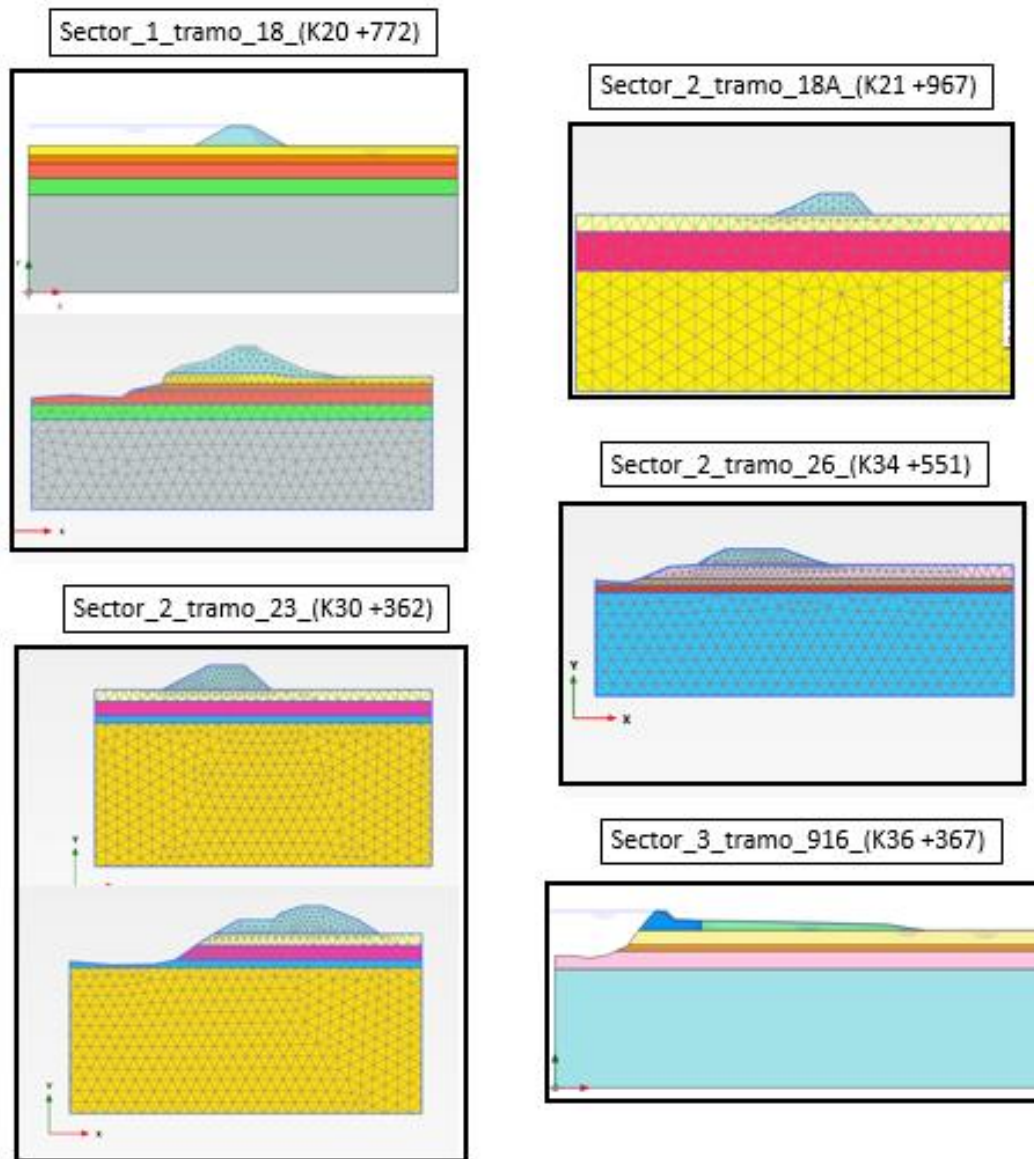
ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
AMBIENTE

Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático

14.1 GEOMETRÍA Y PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DEL SUBSUELO Y DE LOS JARILLONES

En la Figura 3, se presentan las secciones geotécnicas utilizadas para las simulaciones numéricas. Para cada tramo, se seleccionó el jarillón crítico para el análisis y en algunos casos, se tomaron los jarillones en ambos lados del río como soporte del análisis.

Figura 14.3 Secciones geotécnicas de los sectores críticos.



Fuente: Proyecto POT

Página 292 de 306



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
AMBIENTE

Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático

Las propiedades mecánicas del subsuelo y del jarillón se tomaron del estudio realizado por la Universidad Nacional dentro del convenio interadministrativo N 514 de 2007, entre la CAR y la Universidad Nacional de Colombia (Ver Figura 4). Adicionalmente, se ajustaron algunos de estos parámetros presentaban valores fuera de los intervalos convencionales para este tipo de materiales.

Figura 4. Propiedades mecánicas del subsuelo y del jarillón.

Sector_1_tramo_18_(K20 +772)

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kN/m2)	Phi
Material_1		19.45	Mohr-Coulomb	17.5	21.06
Material_4		18.67	Mohr-Coulomb	38	17.14
CAPA ORGÁNICA MOD		11.77	Mohr-Coulomb	12	9
Material_7		19.57	Mohr-Coulomb	14	21.43
Material_12		14.9	Mohr-Coulomb	104.97	26.6
JARILLÓN		19	Mohr-Coulomb	20	20
Material_18		18.92	Mohr-Coulomb	67	12.85
Material_19		16.31	Mohr-Coulomb	47.6	17.7

Sector_2_tramo_23_(K30 +362)

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kN/m2)	Phi
Material_1		17.88	Mohr-Coulomb	75.75	21.1
Material_4		17.85	Mohr-Coulomb	15	14.03
RELLENO HETEROGÉNEO		14.72	Mohr-Coulomb	15	12
Material_5		19.32	Mohr-Coulomb	38.8	32.64
Material_6		19.06	Mohr-Coulomb	47.5	34.44
JARILLÓN		19	Mohr-Coulomb	20	20

Sector_2_tramo_18A_(K21 +967)

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kN/m2)	Phi
Material_1		17.88	Mohr-Coulomb	75.75	21.1
Material_5		19.32	Mohr-Coulomb	38.8	32.64
Material_8		18.72	Mohr-Coulomb	47.6	17.7
JARILLÓN		19	Mohr-Coulomb	20	20

Sector_3_tramo_916_(K36 +367)

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kN/m2)	Phi
Material_1		18.49	Mohr-Coulomb	30	44.02
JARILLÓN		19	Mohr-Coulomb	20	20
Material_4		16.76	Mohr-Coulomb	7	11.04
Material_5		15.64	Mohr-Coulomb	51	12.68
Material_6		15.01	Mohr-Coulomb	16	8.5
RELLENO ANTRÓPICO		14.72	Mohr-Coulomb	15	12

Sector_2_tramo_26_(K34 +551)

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kN/m2)	Phi
Material_1		17.88	Mohr-Coulomb	75.75	21.1
Material_4		17.85	Mohr-Coulomb	15	14.03
Material_6		19.06	Mohr-Coulomb	47.5	34.44
Material_7		17.11	Mohr-Coulomb	54.5	19.21
Material_11		19.32	Mohr-Coulomb	60	35.53
JARILLÓN		19	Mohr-Coulomb	20	20

Fuente: Proyecto POT



14.2 RESULTADOS DEL ANÁLISIS POR DESEMBALSE RÁPIDO.

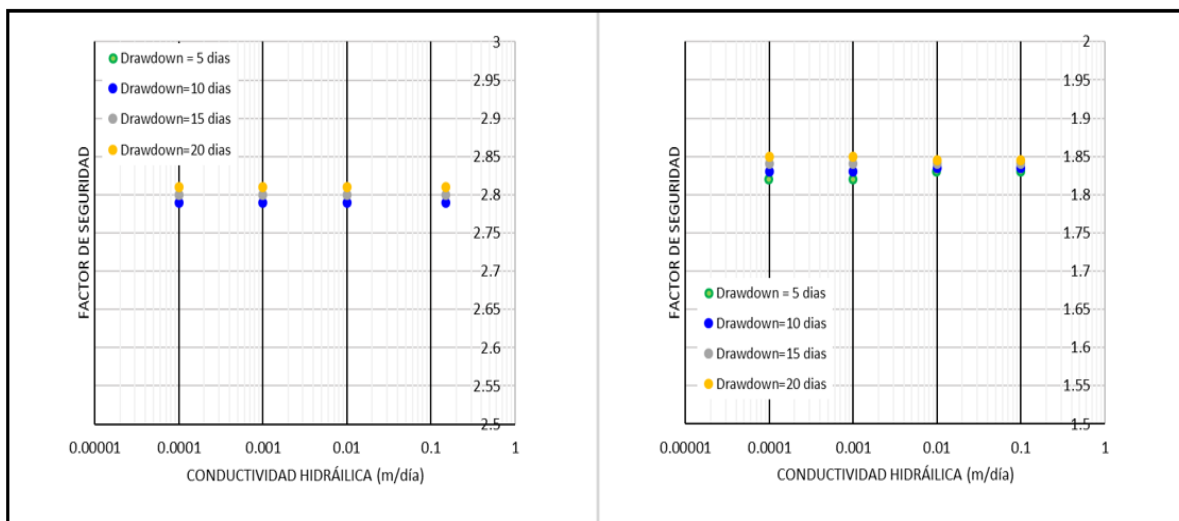
Los análisis por desembalse rápido se realizaron teniendo en cuenta varios escenarios de tiempo de ocurrencia del desembalse, además se realizan análisis de sensibilidad de las propiedades mecánicas del jarillón. A continuación, se presenta un resumen con cada una de las variables estudiadas.

14.2.1 Influencia de conductividad hidráulica

En las siguientes figuras, se presentan los resultados de las simulaciones numéricas de los jarillones sometidos a desembalse rápido para diferentes valores de la conductividad hidráulica con ventanas de tiempo de desembalse entre 1 día y 30 días. Como se sugiere en las Figura 14.4 y Figura 14.5, los valores del factor de seguridad representan condiciones estables. El sector más crítico de los estudiados es el K36 +367 con factores de seguridad entre 1.20 y 1.25. Adicionalmente, para estos casos, no se observa una influencia importante en la variación del factor de seguridad por efectos de las posibles variaciones en la magnitud de la conductividad hidráulica.

Figura 14.4 Influencia de la conductividad hidráulica en el factor de seguridad por desembalse rápido para diferentes tiempos en K20 +772 y K30 +362.

Sector 1, tramo 18 K 20 + 772



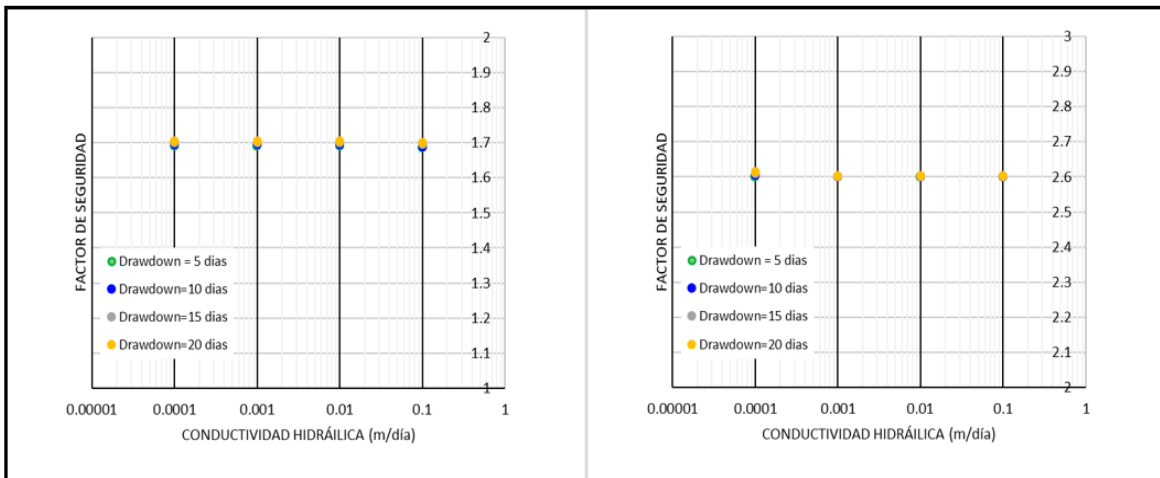


ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.

AMBIENTE

Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático

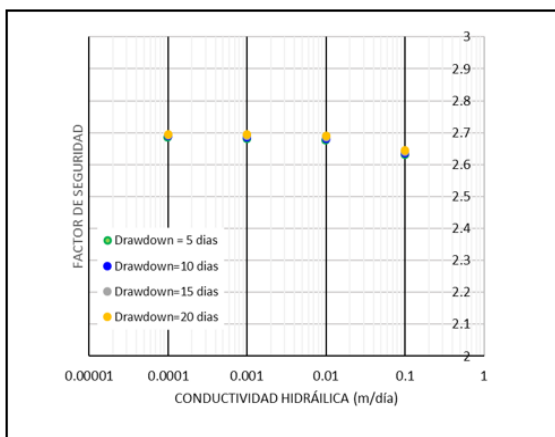
Sector 2, tramo 23 K 30 + 362



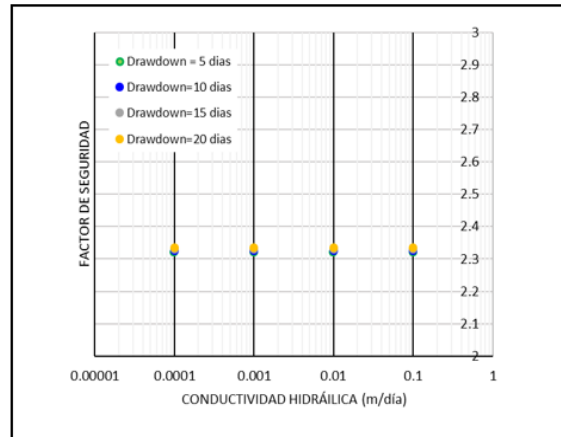
Fuente: Proyecto POT

Figura 14.5 Influencia de la conductividad hidráulica en el factor de seguridad por desembalse rápido para diferentes tiempos en K21 +967, K36 +367 y K34 +551.

Sector_2_tramo_18A_(K21 +967)



Sector_2_tramo_26_(K34 +551)

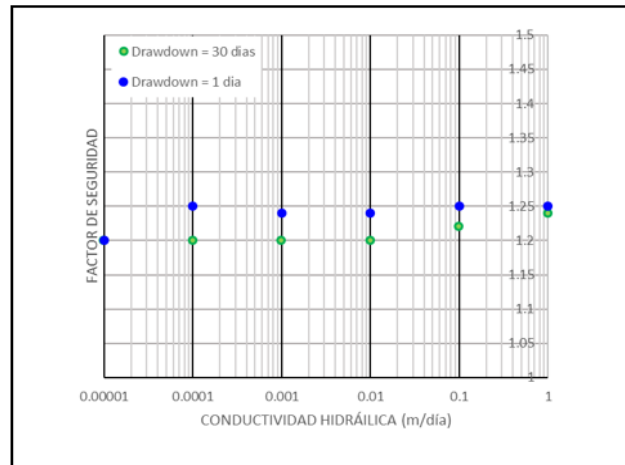




ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
AMBIENTE

Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático

Sector_3_tramo_916_(K36 +367)



Fuente: Proyecto POT

14.2.2 Influencia de la cohesión

En las Figura 14.6 y Figura 14.7 se muestra la influencia de la magnitud de la cohesión del jarillón en el factor de seguridad por desembalse rápido. Las simulaciones se realizaron variando el valor de la cohesión entre 10 kN/m² y 25 kN/m². Como se esperaba, los factores de seguridad mínimos se presentan para los valores de cohesión de 10kN/m² y se maximizan cuando la cohesión del jarillón es de 25 kN/m².

Para las secciones analizadas, en el caso que la magnitud de la cohesión sea de 10 kN/m², los factores de seguridad por desembalse rápido estarían entre 1.08 y 2.20. Nuevamente, la sección más crítica corresponde al K36 +367. Se realizó una simulación adicional en esta sección, con un valor de cohesión de 8 kN/m², obteniéndose un factor de seguridad de 1.02 el cual está muy cerca de la condición de equilibrio límite (Figura 14.7). Para asegurar la estabilidad del jarillón, se debe garantizar una cohesión mínima del jarillón 10 kN/m².



GP-CER453497



CO-SC-CER453496



CO-SC-CER453496



CO-SA-CER366134

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

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



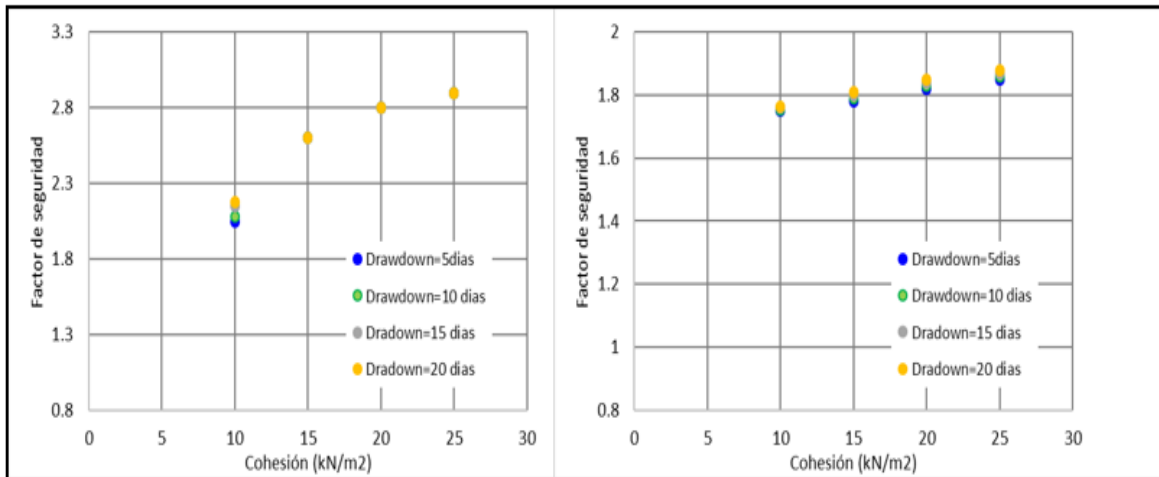
ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.

AMBIENTE

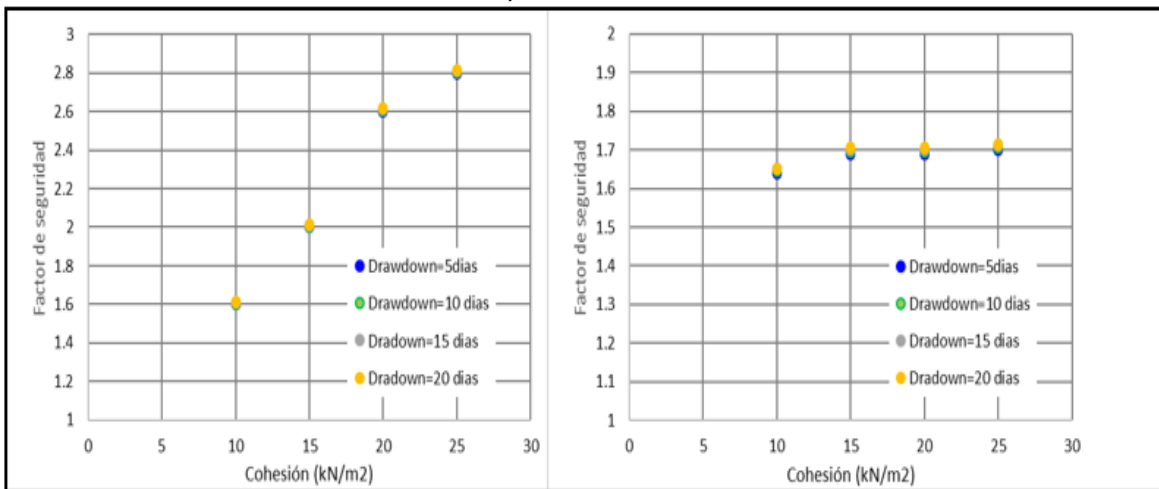
Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático

Figura 14.6 Influencia de la cohesión en el factor de seguridad por desembalse rápido para las secciones ubicadas en K20 +772 y K30 +362.

Sector 1, tramo 18 K 20 + 772



Sector 2, tramo 23 K 30 + 362



Fuente: Proyecto POT

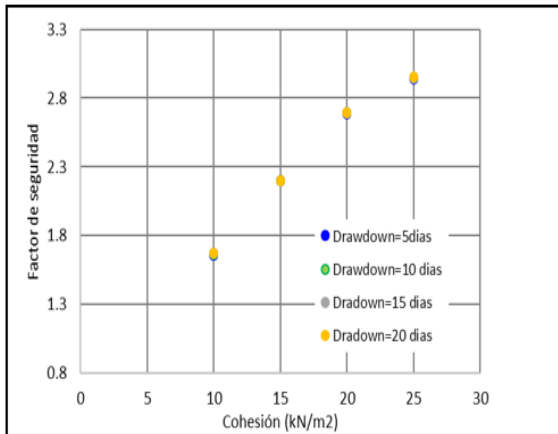
Figura 14.7 Influencia de la cohesión en el factor de seguridad por desembalse rápido para las secciones ubicadas en K21 +967, K34 +551 y K36 +367.



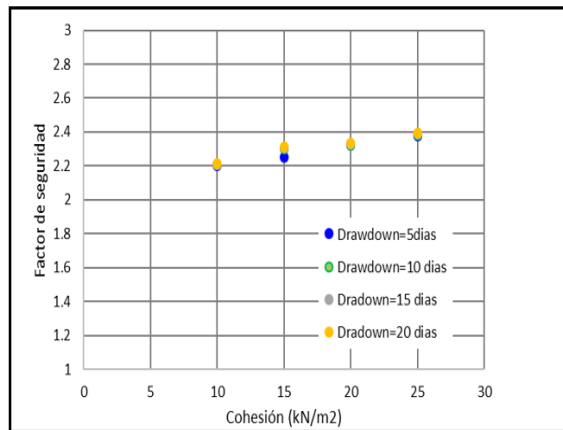
ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
AMBIENTE

Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático

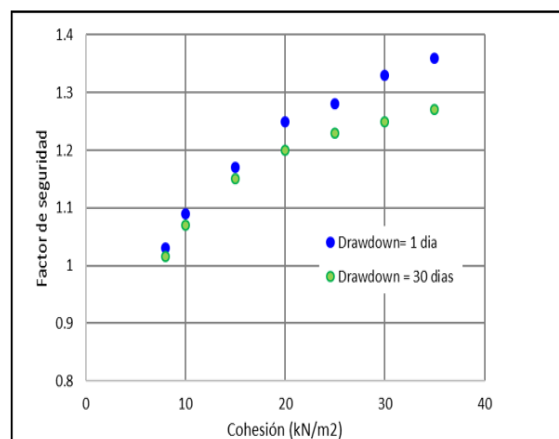
Sector_2_tramo_18A_(K21 +967)



Sector_2_tramo_26_(K34 +551)



Sector_3_tramo_916_(K36 +367)



Fuente: Proyecto POT

14.2.3 Influencia del ángulo de fricción

Otra de las variables mecánicas analizadas es el ángulo de fricción. Se realizaron variaciones de éste parámetro con valores entre 15° y 25°, teniendo en cuenta que la media de diseño es de 20°, dejando constante la cohesión con 20 kN/m2. Las figuras 8 y 9 resumen los valores del factor de seguridad por desembalse rápido para el intervalo de valores del ángulo de fricción analizado en las secciones críticas. Como se espera, el factor de seguridad por desembalse rápido es proporcional al valor del ángulo de fricción. Para el valor mínimo del ángulo de fricción analizado los valores del factor de seguridad se encuentran entre 1.17 y 2.7 en las secciones analizadas. Nuevamente, la sección crítica es la correspondiente al K36 +367 para la cual el análisis proporcionó como resultado un factor de seguridad de 1.17. Aún bajo estas condiciones, las secciones



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.

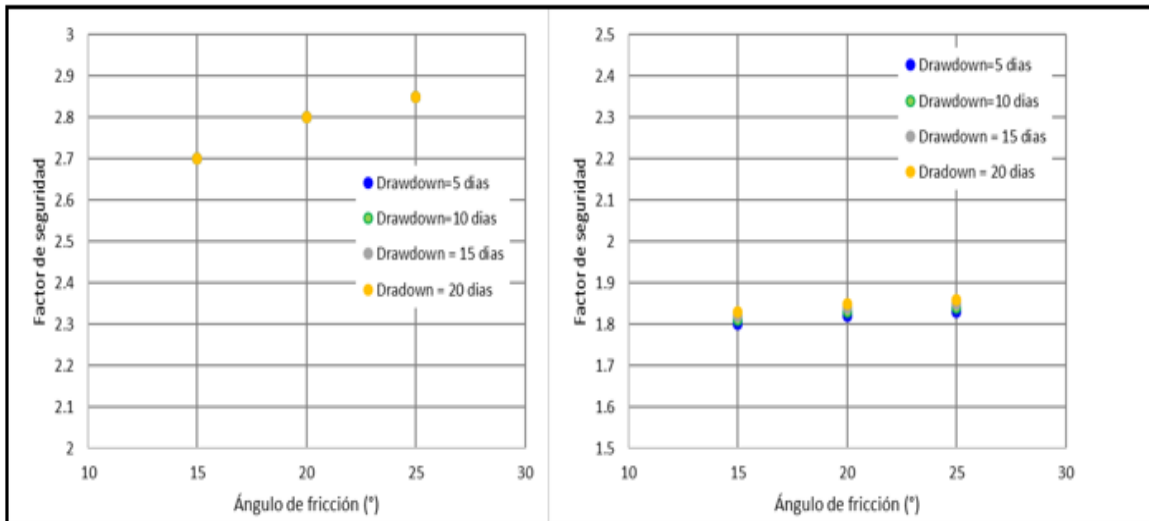
AMBIENTE

Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático

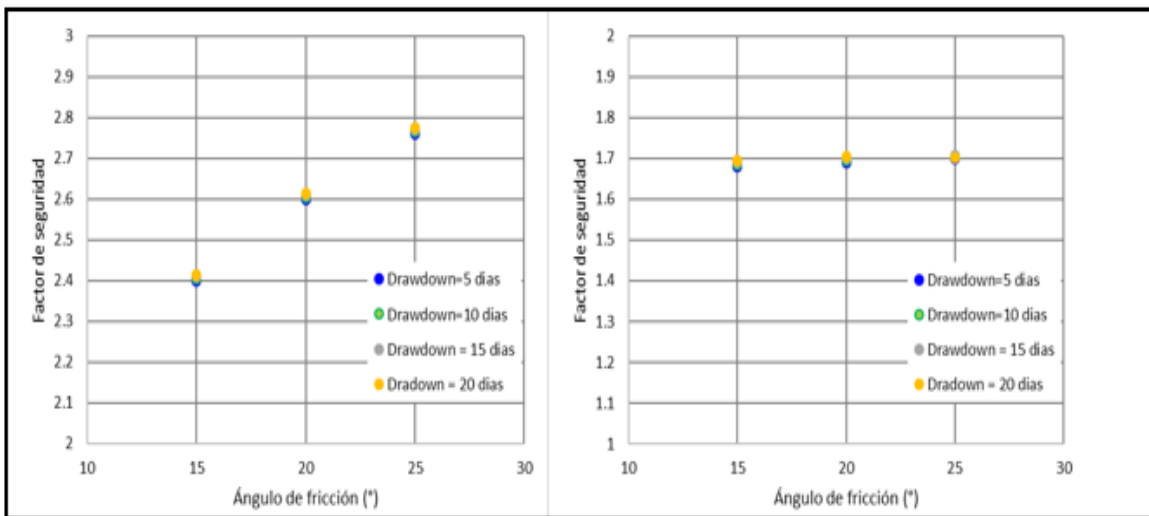
analizadas son estables. Para el valor de diseño del ángulo de fricción los análisis muestran un intervalo de valores del factor de seguridad entre 1.20 y 1.80 lo cual sugiere que no se presentarían problemas de inestabilidad por desembalse rápido.

Figura 14.8 Influencia del ángulo de fricción en el factor de seguridad por desembalse rápido para las secciones ubicadas en K20 +772 y K30 +362

Sector 1, tramo 18 K 20 + 772



Sector 2, tramo 23 K 30 + 362



Fuente: Proyecto POT

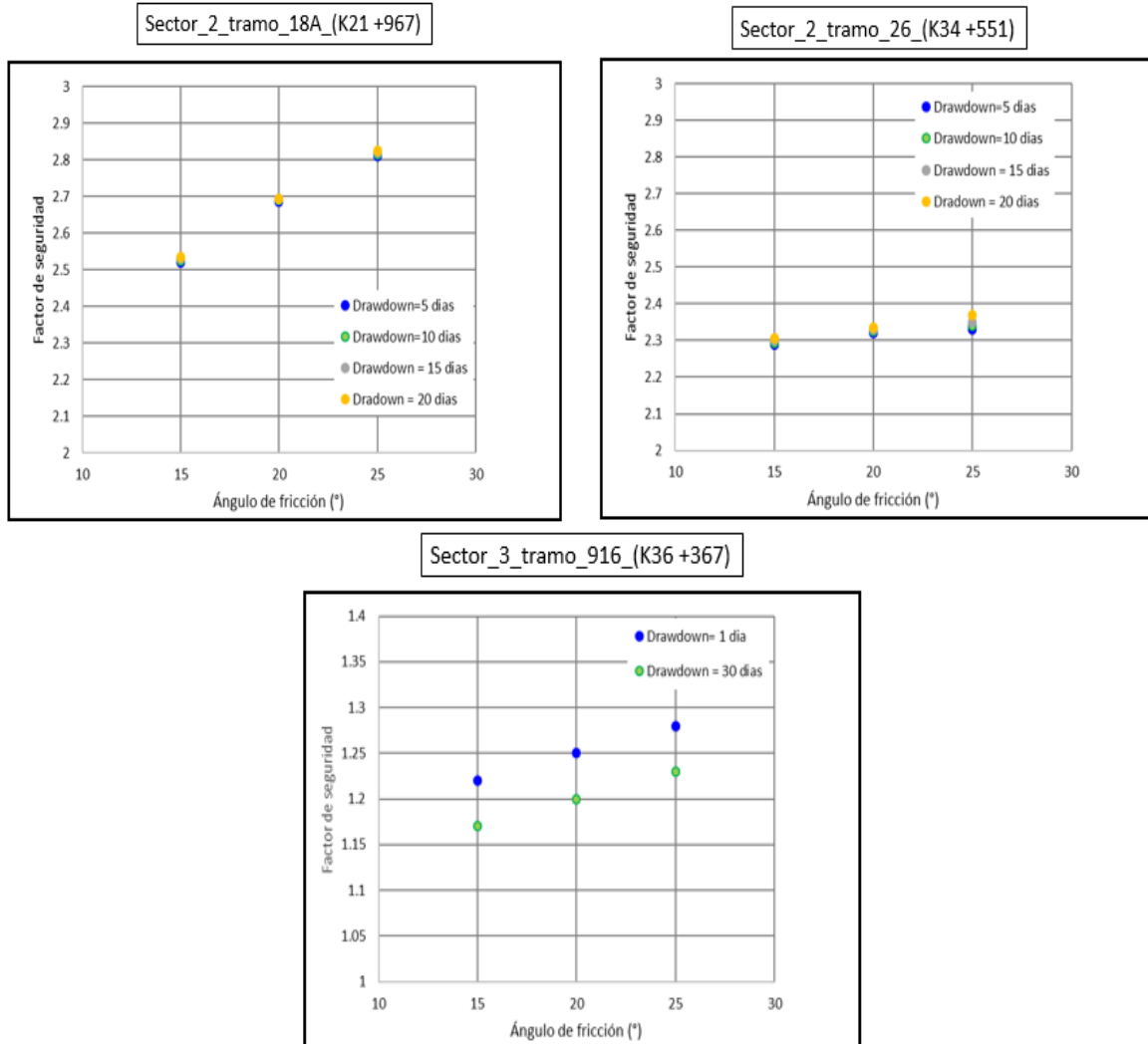


ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.

AMBIENTE

Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático

Figura 14.9 Influencia del ángulo de fricción en el factor de seguridad por desembalse rápido para las secciones ubicadas en K21 +967, K34 +551 y K36 +367.



Fuente: Proyecto POT

14.2.4 Comentarios finales

Con base en los análisis realizados a las cinco secciones críticas se presentan los siguientes comentarios:

- A partir de la escogencia de cinco secciones de jarillón crítica se realizaron una serie de simulaciones numéricas acopladas para estudiar el efecto en la estabilidad por desembalse rápido.

Página 300 de 306

- Se estudiaron posibles variaciones de los principales parámetros geotécnicos que controlan la estabilidad y la condición de flujo del jarillón como son la conductividad hidráulica, la cohesión y el ángulo de fricción del jarillón. Lo anterior, dentro de una ventana de tiempo que comprende análisis entre uno y 30 días de desembalse.
- En el análisis de la influencia de la conductividad hidráulica no se observan variaciones importantes de los factores de seguridad respecto a esta variable. El intervalo de valores del factor de seguridad para las secciones analizadas se encuentra entre 1.20 y 2.80, lo cual establece sugiere una condición estable del jarillón.
- Para la cohesión, el valor de diseño es de 20 kN/m², los análisis se realizaron en un intervalo de 10 kN/m² y 25 kN/m². Los resultados del factor de seguridad observados se encuentran en un intervalo entre 1.08 y 2.20. Se realizó un análisis adicional para la sección K36 +367, con una cohesión de 8 kN/m². Para este caso el factor de seguridad se redujo a 1.02, valor que representa una condición cercana al equilibrio límite.
- Similarmente, para el análisis por fricción el valor medio de diseño es de 20°. El intervalo escogido para las simulaciones es de 15° y 25° y los factores de seguridad resultantes están entre 1.20 y 1.80. Esto implica que no se prevén condiciones inestables por efectos de la variación de este parámetro.
- De todos los análisis realizados la sección más crítica se encuentra en el K36 +367. En esta sección se observaron los factores de seguridad más bajos en comparación con las demás secciones. Teniendo en cuenta lo anterior, se sugiere llevar un control de campo de los parámetros geotécnicos del jarillón. En particular verificar para las diferentes capas que la cohesión no se encuentre por debajo de 10 kN/m² y el ángulo de fricción no se encuentre por debajo de 15°.

15 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El presente documento técnico de soporte corresponde con la actualización del mapa de amenaza por inundación por desbordamiento del plan de ordenamiento territorial de acuerdo con lo establecido en el Decreto 1807 de 2014. Los resultados y conclusiones aquí presentadas deben tomarse como una herramienta para la planificación del territorio y toma de decisiones sobre el uso del suelo.

Las categorías de amenaza definidas son las siguientes

Tabla 15.1. Definiciones de amenaza alta, media y baja adoptadas

CATEGORIZACIÓN DE LA AMENAZA	DESCRIPCIÓN	PARÁMETROS DE EVALUACIÓN	PERIODO DE RETORNO
------------------------------	-------------	--------------------------	--------------------

Página 301 de 306



**ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.**

AMBIENTE
Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático

CATEGORIZACIÓN DE LA AMENAZA	DESCRIPCIÓN	PARÁMETROS DE EVALUACIÓN	PERIODO DE RETORNO
AMENAZA ALTA	Zona delimitada por la línea de inundación producida por el desborde del cauce calculado para el caudal de creciente de un periodo de retorno igual a 100 años, con una profundidad de lámina de agua igual o superior a 1,00 m, y una velocidad de flujo agua igual o superior a 2 m/s.	Lámina de agua > 1,0 m Velocidad de Flujo > 2 m/s	100 años
AMENAZA MEDIA	Zona delimitada por la línea de inundación producida por el desborde del cauce calculado para el caudal de creciente de un periodo de retorno igual a 100 años, con una profundidad de lámina de agua entre 0,5 m y 1,0 m y una velocidad de flujo entre 1,5 m/s y 1,0 m/s. Adicionalmente contempla el área de influencia ante una posible falla funciona del sistema de drenaje pluvial de las plantas elevadoras	0,5 m > Lámina de agua < 1,0 m 1,5 m/s > Velocidad de Flujo < 2 m/s	100 años
AMENAZA BAJA	Zona delimitada por la línea de inundación producida por el desborde del cauce calculado para el caudal de creciente de un periodo de retorno igual a 100 años, con una profundidad de lámina de agua igual o inferior a 0,5 m, y una velocidad de flujo agua igual o inferior a 1,5 m/s.	Lámina de agua < 0,5 m Velocidad de Flujo < 1,5 m/s	100 años

Con base en los resultados se tienen que para el escenario actual con relación a la Resolución 858 de 2013 se presenta una disminución en la amenaza por inundación por desbordamiento pasando del 4,2% que equivale a 6832 ha a un 0,53 % que corresponde con 870 ha del cual el 69% es amenaza alta, el 22% media y el 9% baja.



GP-CER453497



CO-SC-CER453496



CO-SC-CER453496



CO-SA-CER366134

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

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

Para el escenario prospectivo se presenta una disminución en la amenaza por inundación por desbordamiento pasando del 4,2% que corresponde con 6832 ha a un 0,31% que corresponde con 510 ha del cual el 57% es amenaza alta, el 33% media y el 11% baja.

De acuerdo con estos resultados basados en los estudios y las obras de adecuación hidráulica y protecciones realizadas por la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR sobre el río Bogotá, para el escenario prospectivo se evidencia que en general no se presenta amenaza y/o riesgo por inundación por desbordamiento, para el escenario actual se presenta en la localidad de Suba y en la localidad de Engativá.

En el río Tunjuelo se presenta amenaza alta de inundación por desbordamiento en la zona de gravilleras. Por otra parte dentro del cauce del río Tunjuelo se encuentran edificaciones de origen ilegal las cuales deben ser retiradas de los mismos.

La eficiencia y funcionalidad de las medidas de mitigación de amenaza por inundación por desbordamiento está supeditada a la implementación de un programa sostenible de seguimiento, monitoreo, mantenimiento preventivo y funcional de las mismas que eviten modificaciones en las condiciones de amenaza y por ende las de riesgo, para lo cual se debe garantizar que los responsables tengan acceso a las mismas en todo momento para la adecuada operación de la maquinaria y equipos para mantenimiento preventivo.

Considerando que las medidas estructurales implementadas reducen el riesgo más no lo eliminan 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.

Teniendo en cuenta que se trabajó con los “Planos de obra record de la Adecuación Hidráulica” y se utilizó información de diseño y levantamientos topográficos realizados en el año 2007, que tendrán variaciones durante el 2018 con respecto a las condiciones actuales, debido a las obras que actualmente ejecuta y proyecta la CAR y EAB-ESP, es posible que se generen algunas variaciones frente a la zonificación de amenaza, sin embargo se considera que conforme las consideraciones realizadas para el presente documento y los resultados obtenidos, por lo que los cambios esperados si se realizan nuevas modelaciones con los planos de obra record no deben ser sustanciales dado que la evaluación de amenaza se realizó para las condiciones más conservadoras en las modelaciones permitiendo tener un comportamiento de todo el cuerpo de agua en la

cuenca media del río Bogotá en el Distrito Capital y los efectos de la nueva condición hidráulica generada por las obras de adecuación realizadas.

Teniendo en cuenta que algunos cuerpos afluentes del río Bogotá, con la delimitación oficial de estos, pueden presentar áreas zonificadas en amenaza alta, media o baja mientras no sean redelimitados oficialmente, posterior a la adecuación hidrogeomorfológica de los mismos, se debe tener en cuenta los siguientes condicionamientos o restricciones al uso del suelo:

Amenaza Alta

- Dadas las características de la zona de amenaza alta por inundación por desbordamiento definida de acuerdo con el presente concepto, en concordancia con la normatividad vigente, deben ser objeto de restricción del uso y ocupación del suelo, por lo que en dicha zona no se podrán adelantar procesos de urbanización que impliquen usos urbanos.

Amenaza Media y Baja

- Desde el punto de vista de amenaza por inundación, se considera viable adelantar procesos de desarrollo urbanístico en los sectores zonificados con esta categorización.

Consecuente con los resultados obtenidos, es necesario que la autoridad ambiental competente realice la nueva delimitación del río Bogotá acogiendo las obras de adecuación hidráulica con el fin de que las mismas sean incorporadas dentro del cuerpo de agua, adoptadas mediante cartografía oficial del IGAC y que las zonas de amortiguamiento o zonas multifuncionales sean delimitadas e incorporadas como un cuerpo de agua e integradas a la estructura ecológica principal.

En relación con las áreas zonificadas descritas anteriormente, se recomienda:

- Dado que el drenaje pluvial de las localidades ribereñas de la ciudad depende de un sistema de bombeo soportado por medio de plantas elevadoras que descargan al río Bogotá, se debe tener especial cuidado con la operación y mantenimiento estas áreas, dada su posibilidad de inundación, por lo cual se recomienda a la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá - EAB – ESP contar con los análisis de riesgo respectivos en el marco de la Ley 1523 de 2012, en especial lo dispuesto en sus artículos 38 y 42; donde se debe considerar la necesidad de contar con redundancia de los sistemas de bombeo y suministro de energía, entre otros, y definir la necesidad de instalar sistemas antirreflujo; con base en estos análisis se deben diseñar e implementar las medidas de reducción del riesgo y planes de emergencia y contingencias.



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.

AMBIENTE

Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático

- Se recomienda a la EAB – ESP desde sus competencias, adelantar las acciones respectivas para llevar a cabo las labores de mantenimiento y limpieza de los canales contenidos dentro del área del presente concepto que permita su buen funcionamiento, debido a que es común en los mismos la gran colmatación por basura y presencia de vegetación lo cual puede generar obstrucciones y la disminución de la capacidad hidráulica en el sistema de drenaje general.
- Para el sistema de energía eléctrica se debe evitar en las áreas de influencia del sistema de bombeo de la EAB – ESP, la ubicación de elementos susceptibles a eventos de inundación por encharcamiento con el fin de garantizar la prestación del servicio y los riesgos asociados.
- 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.



GP-CER453497



CO-SC-CER453496



CO-SC-CER453496



CO-SA-CER366134

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

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



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
AMBIENTE

Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático

16 ANEXOS

Anexo 1. Base de Datos de Información.

Anexo 2. Base de Datos de Conceptos Técnicos.

Anexo 3. Base de Datos de Diagnósticos Técnicos.

Anexo 4. Geomorfología.

Anexo 5. DTS Encharcamiento.



GP-CER453497



CO-SC-CER453496



CO-SC-CER453496



CO-SA-CER366134

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

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