

**Estudio para la Determinación de la Franja Inundable de la Subcuenca
Quebrada Chiguaza Perteneciente a la Cuenca del Rio Tunjuelo**

Elaborado por

Marcela Patricia Herrán Álvarez

Código 2195576

Universidad Santo Tomás

Facultad de Ciencias y Tecnologías

Administración Ambiental y de Los Recursos Naturales

**Especialización en Ordenamiento y Gestión Integral de Cuencas
Hidrográficas**

Bogotá, Marzo 2017

**Estudio para la Determinación de la Franja Inundable de la Subcuenca
Quebrada Chiguaza Perteneciente a la Cuenca del Rio Tunjuelo**

**Proyecto de Grado para Optar por el Título Especialista en Ordenamiento y
Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas**

Elaborado por
Marcela Patricia Herrán Álvarez
Código 2195576

Director de Trabajo de Grado
Estrella Cárdenas Castro

Universidad Santo Tomás
Facultad de Ciencias y Tecnologías
Administración Ambiental y de Los Recursos Naturales
Especialización en Ordenamiento y Gestión Integral de Cuencas
Hidrográficas
Bogotá, Marzo 2017

Nota de aceptación

Firma Director: Estrella Cárdenas Castro

Firma jurado: German Melo Quintana

Bogotá D.C Marzo 2017

Contenido

1.	Titulo	8
2.	Antecedentes	8
2.1.	Antecedentes históricos de inundaciones en la Quebrada Chiguaza	8
2.2.	Antecedentes de estudios con Sistemas de Información Geográfica (SIG). 9	
2.2.1.	Uso de Sistemas de información geográfica en la determinación de amenazas por inundación en el municipio de Chía.	9
2.2.2.	Definición de retiros en cuencas urbanas del Valle de Aburrá	9
3.	Formulación del problema.....	11
4.	Objetivos	12
4.1.	Objetivos General.....	12
4.2.	Objetivos Específicos	12
5.	Justificación.....	13
6.	Marco Referencial	14
6.1.	Diagnóstico Ambiental.....	14
6.1.1.	Hidrología.....	14
6.1.2.	Estado del Recurso Hídrico	14
6.1.3.	Variaciones Climáticas.....	16
6.1.4.	Descripción Geológica	17
6.1.5.	Aspectos Geomorfológicos	20
6.2.	Marco legal.....	23
6.3.	Marco Conceptual	26
6.3.1.	Zonas de Retiro de los Cauces	27
6.3.2.	Zonificación de las Áreas de Riesgo	28
7.	Metodología	31
7.1.	Descripción Zona de estudio.....	31
7.2.	Análisis de normatividad y procedimientos para la delimitación de rondas hídricas	32
7.3.	Procesamiento de la franja de inundación de la Quebrada Chiguaza.....	33
7.3.1.	Herramientas utilizadas	33
7.3.2.	Procesamiento con ArcGIS.....	36
7.3.3.	Procesamiento en HEC RAS	42

7.3.4.	Análisis del procesamiento de la franja de inundación de la quebrada Chiguaza.....	52
7.4.	Elaboración de Cartografía de la franja de inundación de la quebrada Chiguaza.....	53
7.5.	Evaluación de las condiciones de la Quebrada Chiguaza y todo su entorno.	53
8.	Análisis y Resultados	55
8.1.	Análisis de normatividad y procedimientos para la delimitación de rondas hídricas	55
8.2.	Análisis del procesamiento de la franja de inundación de la Quebrada Chiguaza.....	57
8.2.1.	Simulación HEC RAS	62
8.2.2.	Simulación Normatividad	63
8.3.	Cartografía de la franja de inundación de la Quebrada Chiguaza.....	65
8.4.	Evaluación de las condiciones de la Quebrada Chiguaza y todo su entorno.	66
9.	Conclusiones	71
10.	Recomendaciones.....	73
11.	Bibliografía	74

Lista de Figuras

Figura 1. Mapa de la Ubicación de las quebradas afluentes a la Quebrada Chiguaza.	15
Figura 2. Unidades Geológicas y estructuras.....	17
Figura 3. Ley 79 de 1986	24
Figura 4. Decreto 190 de 2004.....	24
Figura 5. Decreto 1504 de 1998.....	25
Figura 6. Proyecto Ley 365 de 2005.....	25
Figura 7. Sección de escurrimiento del río	29
Figura 8. Definición de la zona de pasaje de la creciente.....	30
Figura 9. Mapa de la Localización del Sector Hidrográfico de la Quebrada Chiguaza.	32
Figura 10. Programa HEC RAS.....	34
Figura 11. Programa ArcGIS for Desktop.....	36
Figura 12. Delimitación zona de estudio	37
Figura 13. Creación TIM	37
Figura 14. Stream Centerline.....	38
Figura 15. Bank Lines	39
Figura 16. Flow Path	40
Figura 17. Cross-sectional.....	40
Figura 18. Create River Topology	41
Figura 19. XS Cut Line Attributes	41
Figura 20. Export RAS Data.....	41
Figura 21. Secciones transversales sobre HEC RAS	42
Figura 22. Perfil secciones transversales	43
Figura 23. Tabla de coeficientes de Manning	43
Figura 24. Asignación de los valores de coeficientes de Manning.....	44
Figura 25. Datos de flujo permanente	45
Figura 26. Strady Flow Data	46
Figura 27. Simulación del flujo.....	46
Figura 28. Perspectiva 3D del flujo del río	47
Figura 29. Export GIS Data	48
Figura 30. Import RAS DATA.....	49
Figura 31. Layer Setup	49
Figura 32. Nuevo Layer –TIN	50
Figura 33. Import RAS Data.....	50
Figura 34. SHP con la información geométrica del cauce	50
Figura 35. Water Surface Generation	51
Figura 36. TIN generado para los perfiles	51
Figura 37. Floodplain Delineation Using Rasters	51
Figura 38. Láminas de agua de las zonas inundables	51
Figura 39. Grid de inundación y profundidad	52
Figura 40. Secciones del formato	53
Figura 41. Perfil 1. Periodo de retorno de 10 años	57
Figura 42: Perfil 2. Periodo de retorno de 20 años.....	58
Figura 43: Perfil 3. Periodo de retorno de 50 años.....	58

Figura 44: Perfil 4. Periodo de retorno de 100 años	59
Figura 45: Medida trasversal de la lámina de inundación de la Quebrada Chiguaza	59
Figura 46: Superficie de inundación de la Quebrada Chiguaza.	60
Figura 47: Superficie de Inundación sobre la zona urbanizada.	60
Figura 48: Vista del Costado oriental de viviendas ubicadas en la orillas de la Quebrada Chiguaza.....	61
Figura 49: Vista del Costado occidente de viviendas ubicadas en la orillas de la Quebrada Chiguaza.....	61
Figura 50: Comparación de la capa de loteo con la Imagen Satelital.	62
Figura 51: Simulación franja de Inundación de 47.5 metros.	62
Figura 52: Zona Inundable con franja de 47.5 m de la Quebrada Chiguaza... 63	
Figura 53: Simulación franja de Inundación de 30 metros	64
Figura 54: Zona Inundable con franja 30m de la Quebrada Chiguaza.....	64
Figura 55: Mapa de los Predios afectados por zona de retiro por amenaza de inundación de la Quebrada Chiguaza	65
Figura 56: Evidencia de ubicación de viviendas construidas en materiales inadecuados	66
Figura 57: Evidencia de ubicación de viviendas construidas en zona de pendiente de la Quebrada.....	67
Figura 58: Evidencia de ubicación de viviendas en zonas de alto riesgo.....	68
Figura 59: Evidencia de la mala ubicación de residuos cerca de las viviendas en zonas de alto riesgo.....	69
Figura 60: Evidencia de las zonas con falta de mantenimiento	70

Lista de Tablas

Tabla 1.Unidades Geológicas y estructuras de la Subcuenca Quebrada Chiguaza	18
Tabla 2. Unidades geomorfológicas	21
Tabla 3. Normatividad	24

1. Título

Estudio para la determinación de la franja inundable de la Subcuenca Quebrada Chiguaza perteneciente a la cuenca del Río Tunjuelo.

2. Antecedentes

2.1. Antecedentes históricos de inundaciones en la Quebrada Chiguaza

La Quebrada Chiguaza, en los últimos años se ha presentado varios problemas de inundaciones que son causadas por fuertes precipitaciones, lo que ocasiona grandes afectaciones a la población aledaña, causando grandes pérdidas económicas, en especial en las localidades San Cristóbal y Tunjuelito. Estas inundaciones también se presentan debido a la baja calidad de los alcantarillados aledaños a los cuerpos de agua, ya que no tiene un buen sistema de drenaje que en muchas ocasiones se deben por taponamiento causado por la acumulación de basuras y esto obstruye el drenaje del agua cuando el agua supera su nivel.

Dentro de las inundaciones que se han presentado en la Quebrada Chiguaza, fue la ocurrida en el mes de mayo de 1994, ocasionada por los fuertes aguaceros que provocaron arrastre de materiales provenientes de la cantera Distrital El Zuque, que a su vez se desbordo en varios sectores, ocasionando la destrucción de varias viviendas, con un saldo de 6 muertos, un desaparecido, 60 casas destruidas y 822 damnificados (TIEMPO, 1999). Otra de las inundaciones que se presentaron fue en mayo de 1996, debido a la ruptura del jarillón cerca de la desembocadura con la Quebrada Chiguaza, con lo cual provocó que se desbordara el río Tunjuelo, causando el reflujo del sistema de alcantarillado y por tanto la inundación de las viviendas ubicadas en el barrio San Benito de la localidad de Tunjuelito. La última de las fuertes emergencias ocurridas en la parte alta de la subcuenca de la quebrada Chiguaza, fue en el 10 de junio del 2002, en donde se produjo la inundación de la cantera Pozo Azul que está ubicada dentro de la escuela de Artillería, al igual que se inundó la cantera Santa María de CEMEX S.A, con lo cual se produjo la afectación de 578 predios que afectaron a 1078 familias (DPAE, 2003).

2.2. Antecedentes de estudios con Sistemas de Información Geográfica (SIG).

2.2.1. Uso de Sistemas de información geográfica en la determinación de amenazas por inundación en el municipio de Chía.

Para el municipio de Chía, es constante el deterioro y daños causado a raíz de la múltiples inundaciones, viéndose perjudicando vías de acceso, viviendas y demás construcciones del municipio. En la propuesta realizada por la Universidad Católica de Colombia, se muestra un desarrollo de sistema de información geográfico (SIG) en el cual se realizó una recopilación de cartografía básica (mapas de suelos, geológico, topográfico, hídrico, político), los cuales fueron usados para realizar una serie de estudios, que permitieron encontrar y delimitar la zonas de amenazas de inundación del municipio de Chía; los parámetros que se tuvieron en cuenta para la delimitación de estas áreas, fueron factores relevantes en cuento a fenómenos de inundaciones como lo son hidrología, topografía, pendientes y las vías del municipio, junto con el histórico de las inundaciones que se habían presentado en el municipio. Con esta información se realizó una ponderación por medio del programa QGIS (mapa de elevación, pendiente, isoyetas y zonas de inundación). Posteriormente se obtuvo un mapa con la delimitación de las zonas de inundación. Como resultado se realizó una comparación del mapa obtenido con las inundaciones anteriores se encontró que las zonas afectadas en el 2011 coinciden y que las áreas aferentes a los ríos Bogotá y Frío, es donde se van a generar mayores procesos de inundación en Chía (Avendaño y Cadena, 2014).

Este estudio realizado en el municipio de Chía, permite entender que los fenómenos de inundaciones, por medio de un estudio adecuado, permiten la delimitación de la franja inundable de la zona, lo cual contribuye con las organizaciones de ordenamiento, ya que con base a estos estudios pueden establecer el mejoramiento de la planeación territorial. Esto permite conocer estudios que se ha realizado para determinar zonas de inundación y saber qué tipo de información es necesario contar para la elaboración del mismo, con lo cual se pueda tener una base para realizar el estudio de la franja de inundación de la Quebrada Chiguaza.

2.2.2. Definición de retiros en cuencas urbanas del Valle de Aburrá

Para la presentación en el XVI Seminario Nacional de Hidráulica e Hidrología, La Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín; propone una metodología para la definición de los retiros en cuencas urbanas altamente intervenidas, en función de elementos tales como: capacidad hidráulica del río, estabilidad de márgenes y taludes del cauce, franjas para zonas ornamentales y recreación pasiva, franjas de terreno para la extensión de redes de servicios públicos, zonas para la circulación, vías vehiculares o peatonales, zonas de amortiguación para la protección de los ecosistemas en los cauces y las riberas y acceso al cauce y a las zonas de amortiguación para su mantenimiento. Establecen las razones por las cuales las

hipótesis para la base de la reglamentación vigente en la mayoría de las ciudades de Colombia para la delimitación y definición de retiros de corrientes de agua no son adecuadas. Para corregir las falencias en dicha reglamentación proponen una metodología que integra algunos elementos muy importantes relacionados con las dinámicas naturales de las corrientes, y que en general son más consistentes con la visión de sostenibilidad, base del ordenamiento territorial. Algunos de los aspectos incluidos en la metodología propuesta incluyen: la necesidad de hacer un estudio integral de toda la cuenca considerando la geomorfología de la cuenca y los procesos dinámicos más relevantes, la definición de retiros por las manchas de inundación producto del modelamiento hidráulico del flujo y el establecimiento de la frecuencia de los eventos de inundación para delimitar y definir el área de retiro y las zonas con restricción al uso de acuerdo al riesgo tolerable, la zonificación de la amenaza de inundación en función de la velocidad y profundidad del flujo estimadas sobre la planicie de inundación y el modelamiento del flujo considerando las obstrucciones (edificaciones, obras de infraestructura, puentes, etc.) ya existentes sobre la planicie para determinar su incidencia sobre los niveles de inundación esperados.

El estudio de los retiros a las corrientes de agua, es una guía para el presente estudio de la delimitación de la franja inundable de la Quebrada Chiguaza, ya que este proyecto hace referencia a un análisis en general de la franja de inundación de los cuerpos de agua, partiendo de lo que actualmente indica la normatividad, haciendo un paralelo con lo que se observa en terreno, teniendo en cuenta el cumplimiento de la franja de protección, el uso del suelo, las diferentes intervenciones antrópicas y sus afectaciones. Es por esto que es una guía valiosa para la determinación de la franja de inundación de la Quebrada Chiguaza, debida a que la normatividad actual no se está cumpliendo a cabalidad, lo cual causa múltiples problemáticas ambientales, económicas, antrópicas (Velez, Rave, Caballero, Montes, & Escobar, 2003).

3. Formulación del problema

En Colombia las comunidades se han venido construyendo alrededor de los cuerpos de agua, haciendo uso indiscriminado de este recurso y de la misma manera contaminando su caudal hasta el punto de no ser potable sus aguas, como es el caso del Río de Bogotá, que durante décadas ha sido usado como botadero de basuras, residuos de fábricas que han causado una contaminación extrema al punto de ser inusables sus aguas. Junto con el problema de contaminación, se agregan los problemas de uso inadecuado del suelo, debido a que la población construye sus viviendas en áreas muy cercanas a los cuerpos de agua, lo cual conlleva en las épocas de fuertes precipitaciones causen inundaciones, por ello afecta a las viviendas aledañas y a las múltiples personas que allí habitan. Como es el caso de las inundaciones presentadas en los años 1994, 1996 y 2002 debido al desbordamiento del río Tunjuelo y su afluente la Quebrada Chiguaza, por las fuertes precipitaciones presentadas en la época y que dejaron cientos de familias afectadas, por la pérdida de sus viviendas (DPAE, 2003).

La Quebrada Chiguaza, en la actualidad presenta condiciones de susceptibilidad, vulnerabilidad, riesgo por inundación, avenidas torrenciales y otros procesos de remoción en masa (PRM) asociados a su cauce, adicional a esto en la zona se presentan problemas de conflicto de uso de agua y tierra, deforestación de áreas protectoras, erosión acelerada, alta presión demográfica, expansión desordenada de asentamientos humanos, contaminación del suelo y el agua, altos impactos negativos producto de obras que no consideraron otros usos del agua, tales como las ladrilleras e industrias, que agudizan la contaminación en la quebrada ya que arrojan desechos químicos y generan basuras en las fuentes hídricas, al igual los habitantes también generan focos de infección, reproducción de roedores y malos olores a causa de las basuras arrojadas a las fuentes hídricas y sus alrededores.

Teniendo en cuenta, el Proyecto de Acuerdo 51, elaborado en el año 2004, en el cual se propuso la descontaminación de las aguas de la Quebrada Chiguaza, al igual que en el 2013 se publicó el Decreto 255, en donde se establece el programa de reasentamiento de familias en condiciones de alto riesgo de la ciudad de Bogotá, incluyendo en ese decreto a la Quebrada Chiguaza.

En la revisión de literatura realizada no se encontró información sobre delimitaciones de franjas inundables en la subcuenca Quebrada Chiguaza, lo cual es importante para tener claridad en la gestión del riesgo a la que están expuestas todas las personas que habitan en las áreas inundables de esta quebrada; la presente investigación hace una contribución a la solución del vacío existente sobre información básica con respecto a las áreas inundables de la Quebrada Chiguaza.

4. Objetivos

4.1. Objetivos General

Determinar la franja inundable de la subcuenca Quebrada Chiguaza que hace parte de la cuenca del Rio Tunjuelo, para el análisis de la reglamentación del manejo y delimitación de esta subcuenca.

4.2. Objetivos Específicos

- Analizar información existente sobre la normatividad y procedimientos para la delimitación de rondas hídricas; para determinar el área correcta de preservación y conservación en la Quebrada Chiguaza.
- Elaborar una cartografía del área de la Quebrada Chiguaza, mediante el análisis de la simulación efectuada por medio de las aplicaciones de HEC RAS y ArcGIS
- Evaluar las condiciones de la Quebrada Chiguaza y todo su entorno, teniendo en cuenta, amenazas naturales y la cantidad de población humana que se verá afectada por una posible inundación.

5. Justificación

La subcuenca Quebrada Chiguaza, hace parte de la Cuenca del Río Tunjuelo, se encuentra ubicada en las localidades de San Cristóbal, Rafael Uribe Uribe, Tunjuelito y Usme, de la ciudad Bogotá. Esta área ha sido afectada a causa de los múltiples problemas por inundaciones en la zona aledaña al cauce, debido a las fuertes precipitación presentadas allí, el caso más grave fue el ocurrido en el año 2002, en el cual se presentó el nivel más alto de agua por inundación, en el afluente del río Tunjuelo, la Quebrada Chiguaza, que ocasiono el arrastre de material proveniente de canteras aledañas al sector, lo cual causo la inundación de 18 manzanas del sector, dejando damnificado más de 800 familias. Esto ocasionado por la escasa planeación de la ciudad y poco control de las entidades componentes en las áreas de reserva ambiental.

En el marco de las nuevas políticas ambientales, es importante analizar las metodologías usadas para la delimitación de las áreas de inundación de los cuerpos hídricos, para con esto aplicar o proponer alguna metodología por medio del uso de aplicaciones como HECRAS y ArcGIS, herramientas más utilizadas en el análisis de datos para la delimitación del área de inundación de los cuerpos hídricos y sus zonas de protección, por esta razón se pretende aplicar procedimientos metodológicos para la determinación de franjas inundables en la Quebrada Chiguaza, que contribuyan a una mejor planeación y organización territorial con la finalidad de prevenir desastres a las poblaciones amenazadas, garantizando el bienestar de estas comunidades. También se pretende hacer claridad sobre uso inadecuado de los suelos de protección de la Subcuenca en estudio; con la finalidad de disminuir el impacto ambiental que puede generarse por la ocupación.

6. Marco Referencial

6.1. Diagnóstico Ambiental

Para el diagnóstico Ambiental de la subcuenca Quebrada Chiguaza, se encontraron varios estudios locales relacionados con el área, de consultorías como INGEOCIM, junto con el Instituto Colombiano de Geología y Minería (INGEOMINAS) y la Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá (EAB).

6.1.1. Hidrología

En la ciudad de Bogotá contiene un sistema hídrico, compuesto por diferentes cuerpos de agua, como lo son las áreas de recargas de acuíferos, los cauces y zonas de manejo y preservación ambiental de nacimientos y quebradas al igual que de ríos y canales, humedales, lagos, lagunas y embalse. Las cuencas principales son río Bogotá, sumapaz y blanco. Del río Bogotá se derivan unas subcuencas como la del río Tunjuelo a la cual pertenece la microcuenca Quebrada Chiguaza.

La Quebrada Chiguaza, nace en la parte más alta de los cerros orientales, en la localidad de San Cristóbal, en las canteras de Zuque a una altura 3.387 m.s.n.m., su cauce principal hace un recorrido sureste-noroeste que desemboca en el río Tunjuelo en la cota 2.556 m.s.n.m., presenta un área de drenaje de 1,81 Ha. (GOMEZ, 2000).

Una parte de la red hidrológica de la subcuenca proveniente de la parte de los cerros suroriental como lo son las quebradas de Chorro Colorado, Aguamonte o Zuque, Chorro Silverio, La Vidriera, Seca y de la parte sur recibe las aguas de las quebradas La Nutria y La Guira. En la Figura 1 se puede evidenciar la ubicación de las quebradas afluentes a la Quebrada Chiguaza.

6.1.2. Estado del Recurso Hídrico

Las quebradas afluentes de la quebrada Chiguaza mencionadas anteriormente, presentan fuertes problemas de contaminación, debido a que en las riberas de estos afluentes se han ocasionado alteraciones por la tala de árboles nativos, por la invasión por retamo espinoso el cual desplazar a la vegetación nativa, puede contribuir a la generación de incendios forestales, también por la erosión de sus rondas y por la contaminación producida por la disposición de residuos sólidos o por las aguas negras domésticas de asentamientos que no poseen un sistemas de acueducto y alcantarillado en óptimas condiciones, que en muchas ocasiones son sistemas locales que no cumplen con las condiciones mínimas para la correcta disposición de sus aguas. Otro problema de contaminación se presenta en el

vertimiento de aguas residuales domésticas en el sector del barrio Quindío, debido a que presenta problemas de disposición de escombros de materiales de construcción sobre su vertiente. Al igual la contaminación de la quebrada se presenta por las descargas de los interceptores que están contruidos y no presentan una continuidad o que debido a las fuertes crecientes la quebrada los ha destruido y en algunos casos descargas de los predios que se encuentran a la orilla de la quebrada, los cuales no cuentan con un sistema de alcantarillado (MinAmb, 2012).

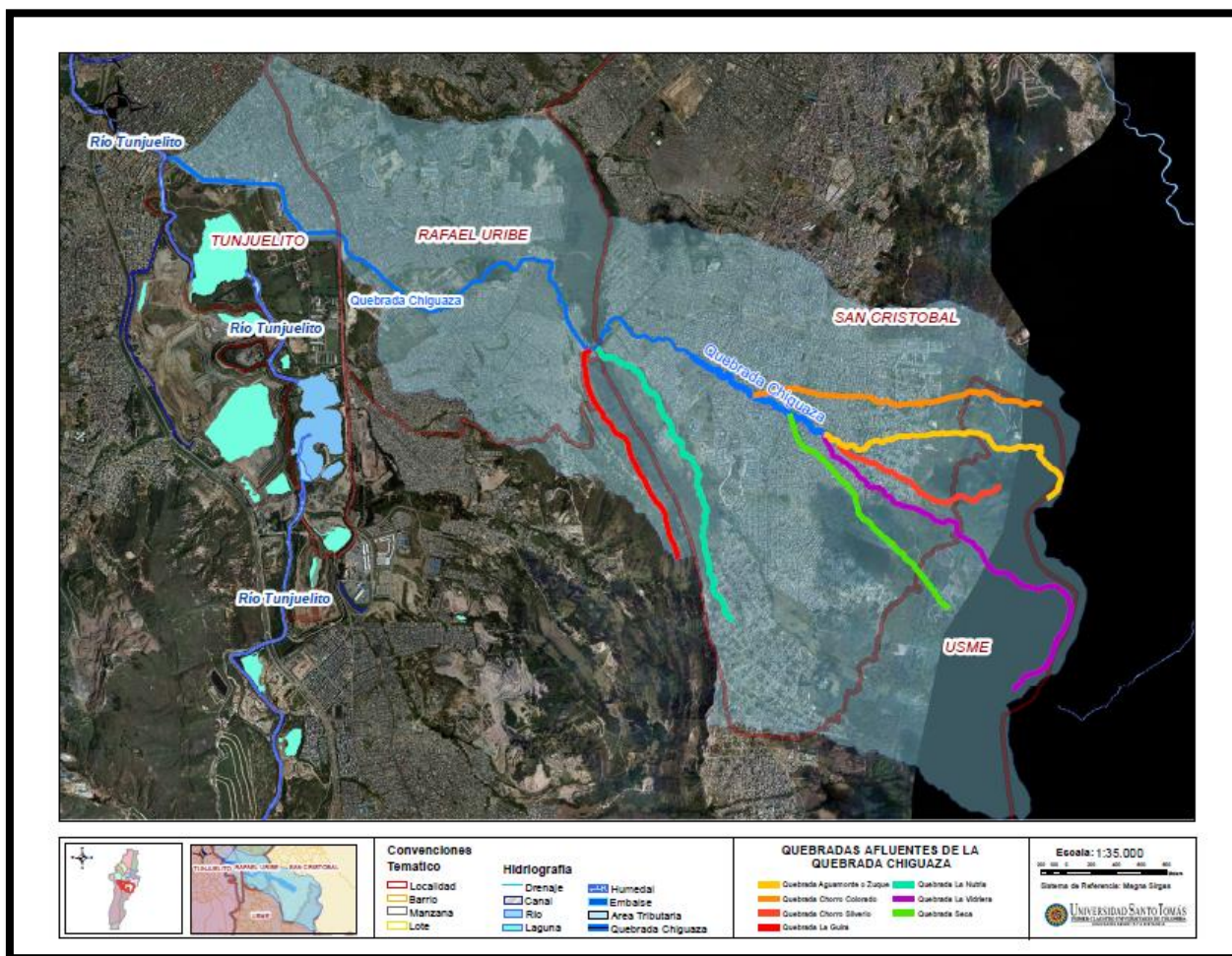


Figura 1. Mapa de la Ubicación de las quebradas afluentes a la Quebrada Chiguaza.

Fuente: Elaboración propia

6.1.3. Variaciones Climáticas

❖ Temperatura

Según el convenio Interadministrativo entre el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM y el Fondo para la Prevención y Atención de Emergencias - FOPAE, se realizó un estudio sobre caracterización climática del Distrito Capital, dentro de los estudios realizados se encuentra el área de la cuenca Tunjuelo a la cual pertenece la subcuenca Quebrada Chiguaza, esta información se obtuvo por medio del análisis de la información de 8 estaciones meteorológicas y con periodos superiores a los 10 años. En este estudio se da a conocer las variaciones naturales de la temperatura en la zona de la cuenca, en la que se destaca el ciclo estacional anual, el cual se presenta en el trópico mucho menos marcado que en las latitudes medias. También indica que se presenta una baja variación en la temperatura media durante el año. La media anual oscila entre 12 y 15°C para el área urbana de la ciudad, con elevaciones entre 2500 y 2800 msnm. Dentro de este estudio se destaca la parte alta de los cerros orientales que hace referencia a la parte de la Quebrada Chiguaza, allí su altura varía entre los 2600 y 3200 msnm, con un clima frío subhúmedo, correspondiente a un piso Monte Bajo y Monte Alto, también se presentan temperaturas que logran valores medios de 6°C, en febrero, marzo, abril y mayo se observan los más altos promedios, destacando que la oscilación tan solo alcanza 1°C, entre las temperaturas del mes más frío con el mes más cálido, lo que da lugar a una zona de carácter Isotermal, lo cual indica que no presenta variaciones grandes durante el año, por tanto su temperatura es constante. (IDEAM – FOPAE, 2013)

❖ Precipitación

Debido a su ubicación geográfica en la cordillera de los Andes, la ciudad se encuentra dentro de la zona de confluencia intertropical, la cual origina un comportamiento bimodal dos épocas de lluvia bien marcadas durante el primer semestre del año, en los cuales se reportan un nivel medio de precipitaciones de 800 a 1000 mm al año, estos meses hacen referencia a marzo hasta mediados de junio y de septiembre a mediados de diciembre. Al igual que la época de lluvias, se presenta una época de condiciones de zona semiseca entre los meses de junio a agosto y mediados de diciembre a finales de febrero, esto se evidencia en el área del territorio que bordea los cerros orientales (IDEAM – FOPAE, 2013).

6.1.4. Descripción Geológica

El área de estudio de la subcuenca Quebrada Chiguaza, hace parte de la cordillera Oriental central, la cual comprende un área estructurantes compleja, por lo tanto de esta afloran rocas con edades desde el Cretácico Superior al Cuaternario; estas unidades estratigráficas y las estructuras de mayor importancia, son brevemente descritas en la Tabla 1, con base a los estudios realizados INGEOCIM en 1998, junto con los estudios elaborados de INGEOMINAS (1995 -2005). Se puede observar en Figura 2, la representación de las unidades geológicas correspondientes a la subcuenca Quebrada Chiguaza según la nomenclatura del estudio de INGEOCIM, en donde se demarca aproximadamente el área de la Subcuenca Quebrada Chiguaza. (INGEOMINAS, 2005)

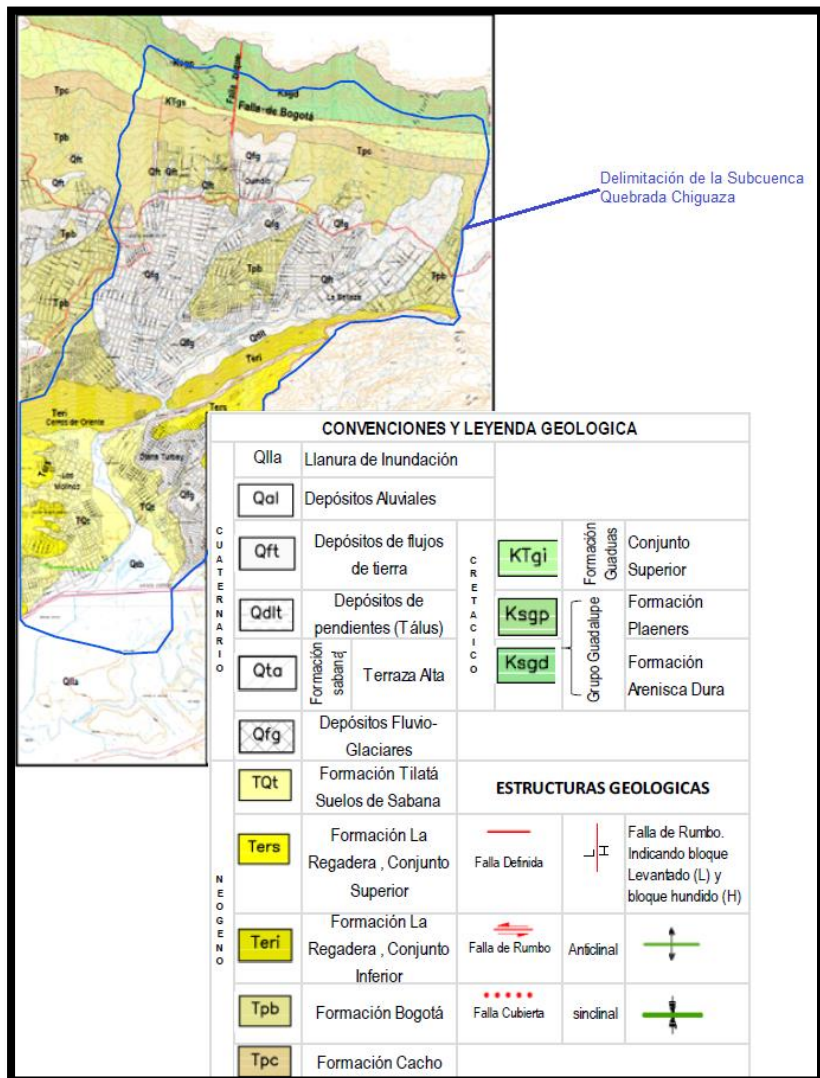


Figura 2. Unidades Geológicas y estructuras.

Fuente: INGEOCIM (1998).

Tabla 1. Unidades Geológicas y estructuras de la Subcuenca Quebrada Chiguaza

Grupo	Nombre Unidad Geológica	Características
Grupo Guadalupe (Ksg)	Formación Arenisca Dura (Ksgd)	Se ubica en la parte alta de la subcuenca, en área rural de las localidades de San Cristóbal y Usme, vereda Tibaque, La Arboleda Rural y Chiguaza Rural. Las características más relevantes son: • Presenta espesos bancos de areniscas con delgadas capas de limolitas, arcillolitas y lodolitas. • Pendientes muy escarpadas. • Escarpes y Frentes Estructurales (representados por el cerro Zuque). • Crestas Monoclinales y Espinazos Estructurales. • Las rocas de la formación Arenisca Dura se encuentran medianamente expuestas a los agentes erosivos, debido a una baja intervención antrópica.
	Formación Plaeners (Ksgp)	Se ubica en una pequeña franja en la vereda Tibaque, localidad de San Cristóbal, en límites con la cuenca del río Fucha. Las características más relevantes son: • Morfología está representada por crestas monoclinales. • Se presenta una posición invertida de los estratos, lo cual no es propicio para la estabilidad geotécnica de los taludes en los cortes para la conformación de vías y en el corte para emplazamiento de viviendas.
Formación Guaduas (KTg)	Conjunto Superior (KTgs)	Se ubica en la parte alta y media de la subcuenca de la Quebrada Chiguaza, con materiales del conjunto superior, con afloramientos relativamente escasos, limitados a cortes en las laderas para la conformación de vías, y a la exposición de rocas debida a la remoción de cobertura vegetal y boscosa. La característica más relevante del conjunto superior es que contiene arcillolitas abigarradas, lentes muy delgados de lignito y bancos de areniscas poco compactas de grano medio a grueso.
Formación Cacho (Tpc)	Formación Cacho (Tpc)	Se ubica en la parte alta de la subcuenca de la Quebrada Chiguaza, sus características más relevantes son: • Contiene una morfología que configura terrenos ondulados con pendientes moderadas en la parte alta. • Sus materiales se encuentran cartografiados en un franja angosta en contacto con las formaciones Guaduas Conjunto Superior y Bogotá, afectados por la falla el Zuque. • Presenta algunos afloramientos dejados por procesos extractivos • de aprovechamiento de materiales de construcción en el Barrio Quindio y altos del Zuque de la localidad de San Cristobal.

Grupo	Nombre Unidad Geológica	Características
Formación Bogotá (Tpb)	Formación Bogotá (Tpb)	Se ubica en la parte media de quebrada Chiguaza, en los barrios Barrios Moralba, Altos del Zipa, Altos del Zuque, Quindío, Chiguaza Urbano, Las Gaviotas y Juan Rey, pertenecientes a las localidades de San Cristóbal y Usme. Consta de una sucesión monótona de lodolitas, limolitas y arcillolitas abigarradas, separadas por bancos de areniscas arcillosas blandas, su expresión morfológica se encuentra representada por terrenos suavemente inclinados a ondulados.
Formación La Regadera Conjunto Inferior (Teri)	Formación La Regadera Conjunto Inferior (Teri)	Se ubica en la parte media y baja de la subcuenca, en el sector conocido como los puentes, perteneciente a la localidad de San Cristóbal y Rafael Uribe Uribe. Se caracteriza por: • Presentar bancos de arenisca muy friables, alternada con arcillolitas • Representada por pendientes escarpadas y abruptas (cerro Guacamayas). • Presenta afloramientos expuestos por actividades antrópicas como remoción de cobertura vegetal, labores extractivas de minería para el aprovechamiento de materiales de construcción y cortes de laderas para la conformación de viviendas y carreteras, motivo por el cuál es susceptible a la caída de rocas
Formación La Regadera Conjunto Superior (Ters)	Formación La Regadera Conjunto Superior (Ters)	Se ubica en la Subcuenca en el barrio Puerto Rico de la localidad de Rafael Uribe Uribe, se caracteriza por: • Una predominancia de arcillolitas expresadas • Su morfología contiene terrenos ondulados • Dentro de este se identifica un contacto estructural de esta unidad geológica con el Conjunto Inferior de la formación La Regadera.
Formación Tilatá Suelos de Sabana (TQt)	Formación Tilatá Suelos de Sabana (TQt)	Se ubica en la Subcuenta, en los barrios Los Molinos, Marruecos, San Agustín perteneciente a la localidad Rafael Uribe Uribe. Se caracteriza por: • Su morfología es plana a suavemente inclinada • Se considerada de carácter lacustre consta de arcillas y arenas arcillosas, turbas y niveles de Guijarros • Los materiales de esta unidad geológica son muy susceptibles a la erosión hídrica.
Depósitos Fluvio-Glaciares (Qfg)	Depósitos Fluvio-Glaciares (Qfg)	Se ubica en la en la parte alta y media de la Subcuenca, se caracteriza, en que esta unidad constan de bloques y cantos de arenisca de formas subredondeadas a subangulares y algo planares provenientes del Grupo Guadalupe se encuentran poco consolidados, presentan espesores variables y pueden ocupar zonas relativamente grandes.

Grupo	Nombre Unidad Geológica	Características
Formación Sabana-Terraza Baja (Qtb)	Formación Sabana-Terraza Baja (Qtb)	Se ubica en la en la parte media y baja de la Subcuenca, con características como su morfología que está representada por un relieve plano con una pendientes menores a 3°, y esta formación son de origen fluvio lacustre, enmarcado en tres subunidades.
Depósitos de Pendiente – Talus (Qdlt)	Depósitos de Pendiente – Talus (Qdlt)	Se ubica en la Subcuenca en los barrios Arrayanes I y Arrayanes V de la localidad de Usme. Se caracteriza por: • Origen asociado a los procesos de fracturación y transporte que han sufrido las unidades geológicas presentes en el área. • Está compuesto de guijos y bloques de arenisca cuarzosa embebidas en una matriz clasto-soportada que varía de arcillosa a arcillo-arenosa • Conformando una unidad susceptible a generar aporte de sedimentos al cauce de la quebrada.
Depósitos Aluviales (Qal)	Depósitos Aluviales (Qal)	Se ubica en la parte baja de la Subcuenca, en los barrios Tunjuelito, Abraham Lincoln y el Área de Artillería de la localidad de Tunjuelito, se caracteriza por: • Contiene una Llanura de Inundación (Qlla), cuyos depósitos de arcilla y limos se encuentran asociados a la dinámica del cuerpo de agua. • Su morfología consiste en superficies planas con pendientes menores a 3°.

Fuente: Fuente: Elaboración propia

6.1.5. Aspectos Geomorfológicos

El área de la Subcuenca Quebrada Chiguaza hace parte unidad geomorfológica denominada “Sabana de Bogotá”, la cual muestra procesos históricos de remodelamiento morfológico causados bajo la influencia tectónica y de eventos de acumulación de sedimentos. Para el área de la cuenca es importante analizar el comportamiento del terreno, no solo su estado actual, sino que también toda su historia ya que esto influye en los procesos de inestabilidad de la zona de estudio. Para el área de la subcuenca Quebrada Chiguaza se realizó una breve descripción de las geoformas del terreno en esta zona (Tabla 2), por medio de un estudio de unidades geomorfológicas del terreno realizado por INGEOCIM en 1998, con colaboración del FOPAE, en el cual se pueden encontrar datos técnicos rasgos del relieve, geométricos, procesos morfodinámicos, criterios morfológicos, entre otros (INGEOCIM LTDA, 1998).

Tabla 2. Unidades geomorfológicas

Unidades genéticas del terreno	Unidades geomorfológicas	Descripción - Geoformas
Montañoso de Control Estructural	Escarpes y Frentes Estructurales (IA)	Se ubica en la parte alta de la Subcuenca, en Cerro Zuque en la parte alta, por el cerro Guacamayas en la parte media y en la parte baja por el cerro ubicado en el barrio Guiparma. • Cretas agudas con pendientes altas (mayores a los 35°) • Laderas irregulares • Areniscas cuarzosas grano fino • Formaciones Guaduas y Cacho
	Pendientes Estructurales (IB)	Se ubica en la parte media de la Subcuenca en los barrios Guacamayas y Arrayanes. • Estratificación, rocas duras. • Crestas agudas con pendientes mayores a 35°, escarpadas a muy escarpadas. • Laderas rectas y escasas. • Areniscas cuarzosas grano grueso y limolitas silíceas • Formación Cacho y areniscas de la Regadera.
	Crestas Monoclinales y Espinazos Estructurales (IC)	Se ubica en la parte alta de la Subcuenca, en el sector rural de la localidad de San Cristóbal. • Crestas redondeadas con fuertes pendientes mayores a los 35° • Altos ángulos de buzamiento. • Areniscas cuarzosas de grano fino a grueso. • Formación Plaeners y Guaduas
Colinado de Control Estructural Plegado	Terrenos Ondulados (IIB)	Se ubica en el área de subcuenca en los barrios La Resurrección y El Playón de la localidad Rafael Uribe Uribe, barrios Moralba, Altos del Zipa, Altos del Zuque, Quindío, Chiguaza Urbano, Las Gaviotas y Juan Rey : • Crestas redondeadas con pendientes muy variables entre 7° a 30°. • Areniscas cuarzosas grano grueso y arcillositas abigarradas. • Asociada a Formación Guaduas, formación Cacho y Conjunto Superior, formación Regadera.
	Superficies de aplanamiento o Peneplanicies (IIC)	Se ubica en la subcuenca en los barrios Nueva Gloria, El Paraíso, El Pinar y parte del barrio Guacamayas II de la localidad de San Cristóbal. • Crestas angulares o redondeadas con pendientes suaves (menores a 14°). • Litología Areniscas y arcillolitas. • Formación Bogotá.

Unidades genéticas del terreno	Unidades geomorfológicas	Descripción - Geoformas
Erosional de Depósitos No Consolidados	Laderas de piedemonte Degradadas (V)	Se encuentra ubicada en las laderas de la Quebrada Chiguaza, desde los puentes hasta La Picota. • Pendientes menores a 7°. • Asociada a materiales de la formación Tiltatá.
Depositacional en Laderas	Laderas de acumulación (VA)	Se presenta en la Subcuenca en los barrios de Canadá, Diana Turbay, La Belleza, Las Gaviotas, La Gloria, La Gloria Occidental, Los Arrayanes, Los libertadores, Nueva Delly, Puente Colorado, Quindio y San Martín • Crestas redondeadas con pendientes suaves algo irregulares. • Bloques, guijos y cantos de arenisca. Limos y complejo de suelos negros. • Cuenta con depósitos cuaternarios, Fluvioglaciares, Coluviones y Talus.
Erosional de Valles Aluviales Consolidados	Valles de Planicies (VIB)	Se ubica en la parte baja de la subcuenca en los barrios San Agustín, Marruecos, La Picota, Araham Lincoln y área de artillera de la localidad de Tunjuelito. • Se presenta en terreno plano, que tiene asociado un curso de agua. • Asociado a depósitos de Terraza o Aluviales.
Depositacional en Rellenos de Valles Desarrollados en Suelos Residuales Arcillosos	Valles de Ladera con desarrollo de Flujos de Tierra (VIII)	Se ubica en el valle de las quebradas Guira, la Nutria, Seca, El Melo, las cuales son afluentes de la Quebrada Chiguaza. • Son producidos por movimientos espacialmente continuos. • Considerados depósito de tipo gravitacional. • Se encuentran en valles de quebradas pendiente suave a moderadamente alta. • Son formados sobre materiales arcillosos.

Fuente: Elaboración propia

Con base en las características de las unidades geomorfológicas anteriormente mencionadas, se puede mencionar que en su gran mayoría presentan procesos morfológicos de erosión diferencial, erosión hídrica concentrada, erosión laminar, erosión en surcos (huellas de ganado o patas de vaca), caída de bloques y rocas, deslizamientos traslacionales, los materiales de estas unidades son susceptibles a la contribución de sedimentos y materiales al cauce de la quebrada Chiguaza y junto con la intervención antrópica y fuertes lluvias (factores detonantes), generan un fuente potencial de materiales y sedimentos, que dan a la generación de eventos como avenida torrencial, socavación, depositación, inundación por creciente de tipo ordinaria y súbita.

6.2. Marco legal

Dentro de la normatividad para la delimitación de la franja de inundación de la Quebrada Chiguaza, abarca varias normas las cuales se mencionan de manera general en la Tabla 3. Lo que se quiere mostrar es que varias normas interviene en el querer determinar una adecuada franja de inundación de la Subcuenca Quebrada Chiguaza como lo es la Ley 79 de 1986, la cual se define las áreas de reserva forestal, las cuales sean para la protección del agua (Figura 3), por otro lado el Decreto 1504 de 1998, menciona cual debería ser el manejo que se le da a las áreas de conservación y preservación del sistema hídrico y determinan las rondas hídricas, como elemento constitutivo natural de espacio público y se enuncia que es deber del Estado velar por la protección de la integridad del espacio público (Figura 4), Ahora bien a nivel distrital está el Decreto 190 de 2004, que en el mismo contexto de las anteriores normas, define cual es el área que corresponde a los corredores ecológicos junto con las zonas verdes que bordean una ronda hídrica o a una malla vial, ya que esto hace parte del manejo ambiental, para la conexión de la estructura ecológica principal de la ciudad de Bogotá (Figura 5).

En cuanto al Proyecto de ley 365 de 2005, en este se establece la delimitación de rondas como un instrumento primario de ordenamiento, para la determinación de la ronda se tiene en cuenta el nivel máximo por las aguas alcanzado hasta en 30 metros para la zona de protección según características de la zona; sin embargo la limitación de la distancia a la ronda es un error hasta que no hayan los respectivos estudios técnicos que determinen que según las condiciones geomorfológicas y características del suelo esta distancia es suficiente, asimismo se habla de un periodo de recurrencia de 15 años, tiempo insuficiente debido a los drásticos cambios del clima de los últimos tiempos si se hiciera a tan corto plazo se generarían sobre costos para la nación por lo que los tiempos para el cálculo de periodos de retorno debería ser superior y evaluando a situaciones muy críticas lo que permitiría una delimitación adecuada por el bien de la población, el territorio y su planificación (Figura 6). También está Decreto 1640 de 2012, por medio del cual indica reglamentan los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas, el cual considera el manejo de los recursos naturales al momento de realizar un plan de ordenación y manejo de cuenca, para con esto determinar la autoridad correspondiente encargada de delimitación de las rondas hídricas y velar por que se cumplan los requisitos establecidos según lo indicado en el art 28.

Tabla 3. Normatividad

Norma	Observaciones / Obligaciones
Ley 79 de 1986. Congreso Nacional	"Por la cual se prevé a la conservación de agua y se dictan otras disposiciones"
Decreto 1504 de 1998	"Por el cual se reglamenta el manejo del espacio público en los planes de ordenamiento territorial"
Decreto 190 de 2004	"Por medio del cual se compilan las disposiciones contenidas en los Decretos Distritales 619 de 2000 y 469 de 2003."
Proyecto de ley 365 de 2005	"Por la cual se establecen medidas para orientar la planificación y administración del recurso hídrico en el territorio nacional"
Decreto 1640 de 2012	"Por medio del cual se reglamentan los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos, y se dictan otras disposiciones."

Fuente: Elaboración Propia

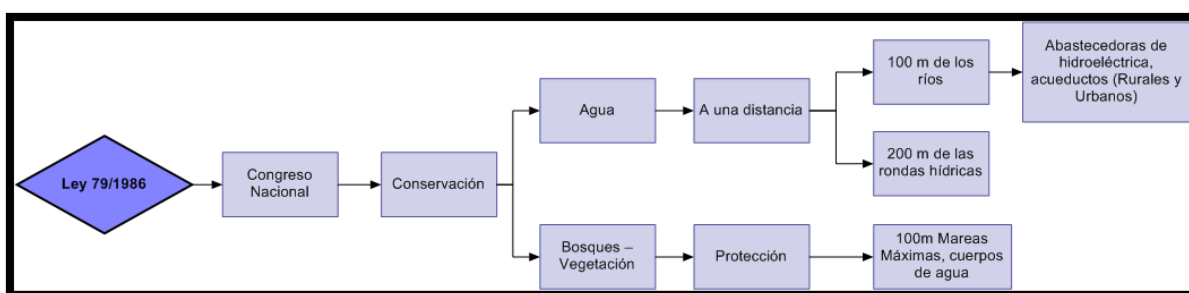


Figura 3. Ley 79 de 1986

Fuente: Elaboración Propia

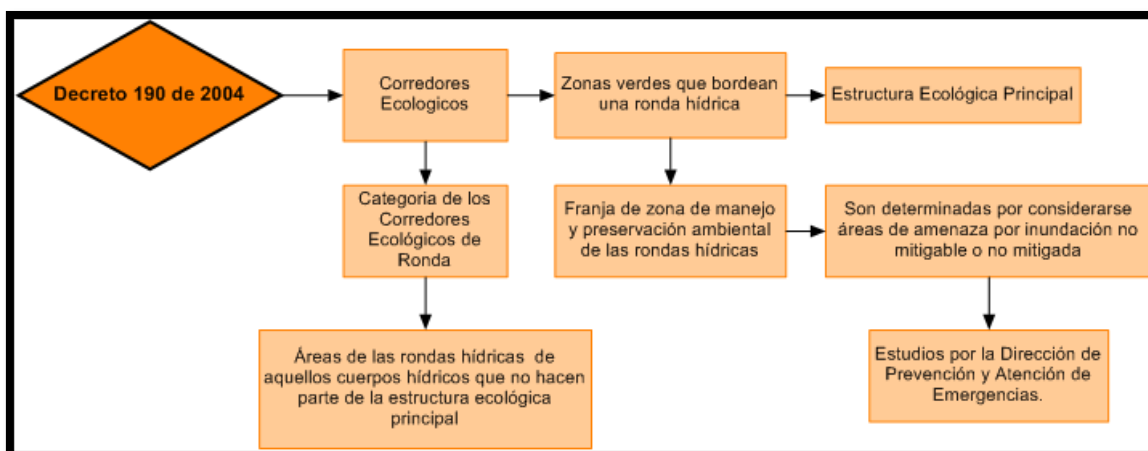


Figura 4. Decreto 190 de 2004

Fuente: Elaboración Propia

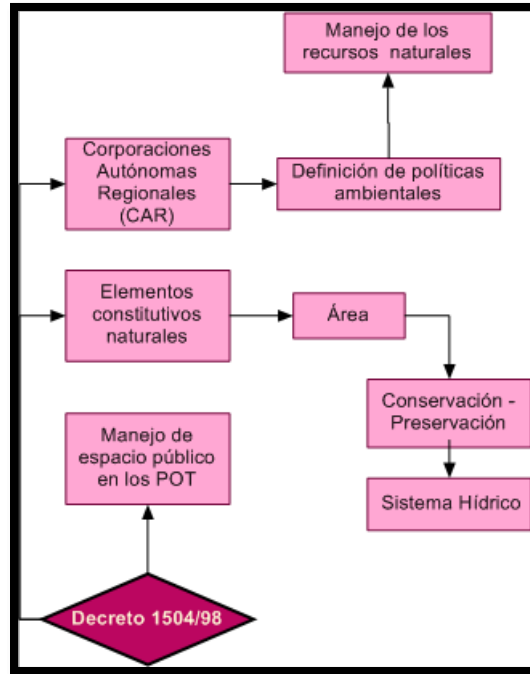


Figura 5. Decreto 1504 de 1998
Fuente: Elaboración Propia

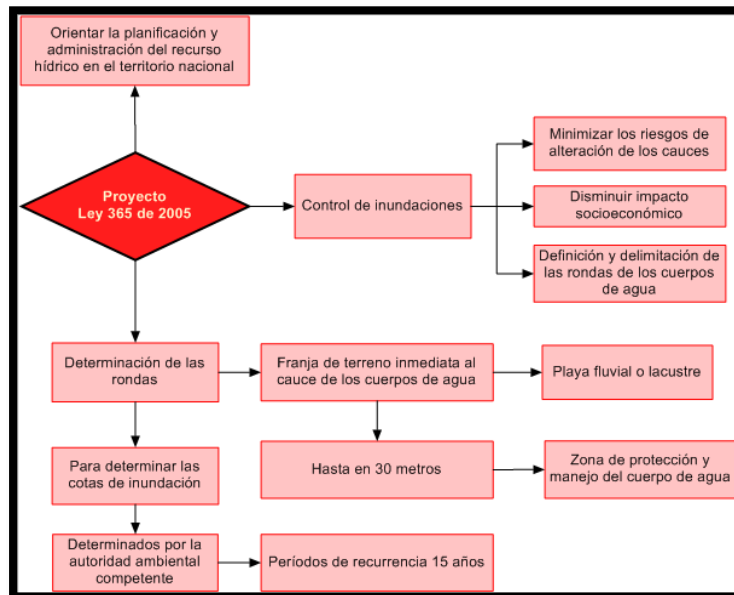


Figura 6. Proyecto Ley 365 de 2005
Fuente: Elaboración Propia

6.3. Marco Conceptual

Dado que el eje central de este proyecto está relacionado con las afectaciones de una mala delimitación de la franja de inundación en este caso de la Subcuenca de la quebrada Chiguaza, es necesario postular algunos parámetros que sirvan de eje conceptual que permita mejor el entendimiento de la información consignada en este documento. Para empezar se entenderá el concepto de cuenca hidrográfica, del mismo modo que se define el ministerio de ambiente “La cuenca constituye una unidad adecuada para la planificación ambiental del territorio, dado que sus límites fisiográficos se mantienen un tiempo considerablemente mayor a otras unidades de análisis; además, involucran una serie de factores y elementos tanto espaciales como sociales que permiten una comprensión integral de la realidad del territorio” (MinAmbiente, 2014), por lo tanto la cuenca hidrográfica es considerada como una unidad fisiográfica, la cual está conformada por la unión de un sistema de cursos de ríos de agua que se definen por medio del paisaje, red hidrográfica es la que llega a formar los cuerpos de agua como los son las quebradas, lagunas, represas, ríos principales, entre otros. Para saber el límite de una cuenca hidrográfica, este está definido de forma natural corresponde a la parte más alta del área que encierra un río. En el Decreto 1729 de 2002 definen la delimitación de la cuenca “la línea de divorcio de las aguas. Se entiende por línea de divorcio la cota o altura máxima que divide dos cuencas contiguas. Cuando los límites de las aguas subterráneas de una cuenca no coincidan con la línea divisoria de aguas, sus límites serán extendidos subterráneamente más allá de la línea superficial de divorcio hasta incluir la de los acuíferos subterráneos cuyas aguas confluyen hacia la cuenca deslindada” (Decreto 1729, 2002).

Dentro del concepto de cuenca hidrográfica, es importante mencionar que las cuencas, se puede clasificar según su tamaño en:

- Cuenca: Es aquella área hidrográfica, de la cual toda la escorrentía superficial fluye a través de una serie de corrientes hídricas, hasta el mar por una única desembocadura y por las aguas subterráneas y costeras asociadas.
- Subcuenca: Es aquella área hidrográfica que hace parte de una cuenca, a partir de la cual toda la escorrentía superficial fluye a través de una serie de corrientes hídricas hacia una confluencia de ríos que hacen parte de una cuenca.
- Microcuenca: Es aquella unidad hidrográfica mínima, que hace parte y drena a una subcuenca (Díaz & Renner, 2007).

Las cuencas se pueden clasificar de acuerdo a su altura, que pueden ser alta, media o baja:

- Cuenca Alta, Corresponde a la zona de paramo o montañosa, se encuentra limitadas en su parte superior por la divisoria de aguas, en esta área se concentra la mayor cantidad de agua y presenta poca población.

- Cuenca Media, Corresponde al área en donde se reúne toda el agua proveniente de la parte alta de la cuenca, dando su disposición a un río principal el cual mantiene un cauce definido. En esta área se suele presentar la presencia de habitantes y movimientos de actividad económica.
- Cuenca Baja, Corresponde al área donde el río principal desemboca a ríos mayores, se caracteriza por presentar bajas pendientes, áreas de valles amplios en los cuales se desarrolla una intensa actividad agropecuaria (Díaz & Renner, 2007).

Con base en lo descrito anteriormente la subcuenca Quebrada Chiguaza, presenta las tres categorías según su altura, ya que en la parte alta, se presenta una zona de montaña en los cerros Zuque, Guacamayas, en la parte media es la zona donde se encuentra toda la población, el desarrollo de barrios populares, asentados alrededor de la quebrada y la parte baja es la zona conocida como los puentes, donde desemboca todas las aguas de la parte alta y media de la quebrada al río Tunjuelito.

Para el análisis que es objeto del presente proyecto, es importante aclarar que se usará el cauce principal de la subcuenca, que se entiende por río principal “como el curso con mayor caudal de agua (medio o máximo) o bien con mayor longitud. El río principal tiene un curso, que es la distancia entre su nacimiento y su desembocadura.” (Gálvez, 2011), es decir en este caso el río principal es el cauce de la Quebrada Chiguaza.

6.3.1. Zonas de Retiro de los Cauces

El objetivo central de este proyecto es la delimitación de la franja de inundación de la Quebrada Chiguaza, esto debido a la presentación de inundaciones por diferentes causas, para esto es importante entender el por qué se presentan las inundaciones y sus afectaciones, es por esto que se puede decir que las inundaciones ocurren cuando las aguas de los ríos, quebradas y galerías pluviales salen del lecho del escurrimiento, esto se presenta por la poca capacidad de transportar de un sistema a otro, lo cual produce la ocupación del espacio que es usada por la población para viviendas, comercio, industrias, recreación (parques, zonas verdes), transporte (vías principales, calles, autopistas). Cuando se presentan las fuertes precipitaciones, se evidencia la poca capacidad de infiltración que tienen algunos suelos, ya que gran parte del volumen escurre para el sistema de drenaje, lo que hace que supere la capacidad natural que tiene de escurrimiento; por lo que el exceso de agua no puede ser drenado de manera natural, lo cual produce que este volumen ocupe el área de la terraza de inundación, causando la inundación de áreas próximas de los cuerpos de agua. Esta forma de inundación, se le conoce como inundación ribereña.

También hay que tener en cuenta las más intensas precipitaciones con de tipos convectivo y orográfico, lo cual hace que la vegetación funcione como un interceptor de la precipitación, de manera que puede generar escurrimiento y por tanto proteger el suelo de la erosión. Han existido grandes problemas a causa de la erosión, debido a que se ha aumentado la frecuencia de inundaciones, afectado los

suelos de usos agrícolas y urbanización, ya que a falta de cobertura vegetal, no ocurre la interceptación de la precipitación y por lo tanto se presenta la colmatación de los cuerpos de agua, en consecuencia produce deforestación de las rondas hídricas (IDEA & Ambiental, 2010). Es importante traer a colación, debido a que en el caso del zona de la subcuenca Quebrada Chiguaza, por la utilización de las áreas aledañas del cuerpo hídrico para urbanizaciones ha causado daños en el suelo y en las fuentes hídricas, lo que provoca en épocas de fuertes precipitaciones se presenten múltiples inundaciones que han traído grandes consecuencias para la población. Es por las razones expuestas anteriormente, que es de vital importancia tomar medidas adecuadas, en primer lugar una adecuada delimitación de la franja de inundación de las fuentes hídricas, medidas de protección de esta área, para que no se presenten usos inadecuados y protección de la cobertura vegetal.

6.3.2. Zonificación de las Áreas de Riesgo

La zonificación de las áreas de riesgo es un conjunto de reglas para la ocupación de las áreas de mayor riesgo de inundación, previendo la minimización futura de las pérdidas materiales y humanas en función de las grandes crecientes (Velez, Rave, Caballero, Montes, & Escobar, 2003).

Las zonas de retiro hacen parte de las zonas aledañas a los cuerpos hídricos y hace referencia a las franjas de terreno que se deben establecer como reserva con el fin de que dichas corrientes tengan un espacio para “divagar” de manera natural, sirven como corredores ribereños y como zonas de amortiguación, en caso de amenazas de tipo hidrológico tales como inundaciones y avalanchas (IDEA & Ambiental, 2010).

La imprecisión y en muchos casos la carencia de normas claras, que reglamenten el uso adecuado del suelo en Colombia, hace que se presenten frecuentemente invasiones a las zonas inundables o inclusive al cauce mismo (Arbeláez, 2001).

La reglamentación del uso de las zonas de inundación se apoya en mapas con demarcación de áreas de distintos riesgos y en los criterios de ocupación de éstas, en cuanto al uso y a los aspectos constructivos. Para que esta reglamentación sea utilizada, beneficiando las comunidades, ésta debe ser integrada a la legislación municipal sobre loteo, construcciones y habitaciones, a fin de garantizar su vigilancia (IDEA & Ambiental, 2010).

Es importante tener en cuenta las condiciones técnicas de la zonificación, ya que el riesgo de ocurrencia de inundación varía con la respectiva cota de la terraza en estudio. Las áreas más bajas están sujetas a mayor frecuencia de ocurrencia de crecientes. Siendo así, la delimitación de las áreas de la zonificación depende de las cotas altimétricas de las áreas urbanas. Es por esto que se debe tener en cuenta que el río posee normalmente uno o más lechos, el lecho menor corresponde a la sección de escurrimiento en régimen de sequía, o de niveles medianos. El lecho mayor puede tener distintas ramificaciones de acuerdo con la sección transversal considerada y de acuerdo con la topografía de la terraza inundable. El río

acostumbra a ocupar durante las crecientes este lecho. Cuando el periodo de retorno de desbordamiento del lecho menor es superior a 2 años, existe la tendencia de la población a ocupar la terraza en las más diversas y significativas maneras socioeconómicas. Esta ocupación genera, por las crecientes, daños importantes a los ocupantes de estas áreas y, también, a las poblaciones localizadas aguas arriba, que son afectadas por las sobre elevaciones de niveles a consecuencia de la obstrucción del escurrimiento natural causado por los primeros ocupantes, la sección de escurrimiento del río puede dividirse en 3 zonas, como se observa en la Figura 7 (Morelli Tucci , 2007).

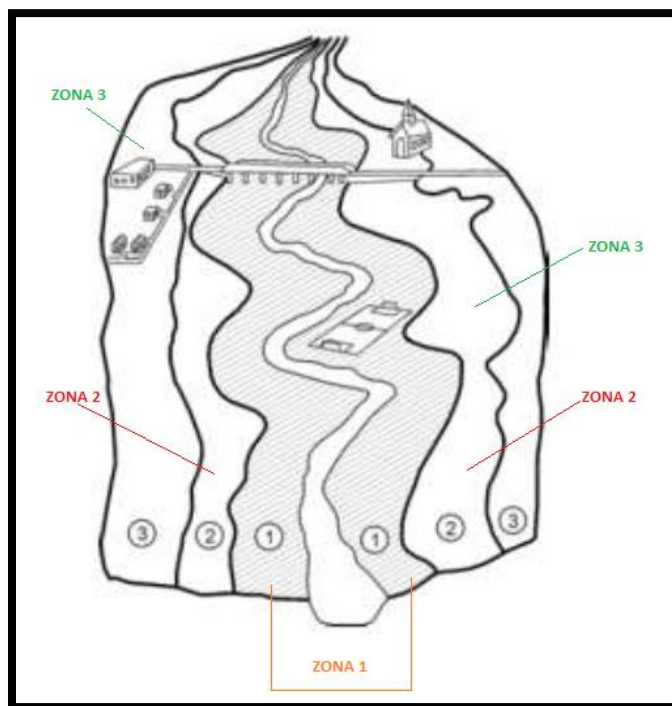


Figura 7. Sección de escurrimiento del río

Fuente: Gestión de Inundaciones Urbanas (Morelli Tucci , 2007)

Las zonas mencionadas hacen referencia a la **Zona 1 (cauce de montaña o pasaje de la creciente)**, esta zona es la que funciona hidráulicamente y permite el escurrimiento de la creciente, por tanto cualquier construcción en esta área disminuirá el área de escurrimiento, por tanto aumentará el nivel de aguas arriba de la sección, es por este motivo que para la realización de cualquier planeamiento urbano, debe tenerse en cuenta esta área y conservar esta zona totalmente libre. No se puede realizar la construcción de urbanizaciones, de presentarse las autoridades competentes deben realizar un reasentamiento de las viviendas. De presentarse la necesidad de construcción en esta área de vías o puentes, debe verificarse si la construcción de estas produce obstrucciones al escurrimiento. Para mantener esta área libre de urbanismo, se debe tener en cuenta que la sección de pasaje de la creciente será la que evita el aumento de los niveles para el lecho principal y para el valle de inundación, este valor en los Estados Unidos se fue establecido a un pie o 30.45 cm. Al igual que se debe determinar la creciente del

cuerpo hídrico para un periodo de retorno de 100 años, con este dato se puede establecer los límites del área de inundación, esto puede observarse en la Figura 9. Otra de las zonas que se presenta es la **Zona 2 (zona con restricciones)**, que corresponde al área restante de la superficie inundable debido a que esta zona queda inundada, pero por las pequeñas profundidades y bajas velocidades, no contribuyen mucho para el drenaje de la creciente. Estas zonas son usadas para parques, actividades de recreación o deportivas simple, uso agrícola, servicios básicos como lo son líneas de transmisión, calles y puentes, desde que correctamente proyectados. Por ultimo esta la **Zona 3 (zona de bajo riesgo)**, por su ubicación esta zona posee pequeña probabilidad de ocurrencia de inundaciones, siendo alcanzada en años excepcionales por pequeñas láminas de agua y bajas velocidades, por lo tanto esta área es delimitada como creciente de baja frecuencia, por lo tanto no contempla medidas de protección para los habitantes, ni de reglamentación con respecto a las crecientes, pero si se debe informar a la población, la posibilidad de una creciente y de cuáles son los medios de protección (Morelli Tucci , 2007).

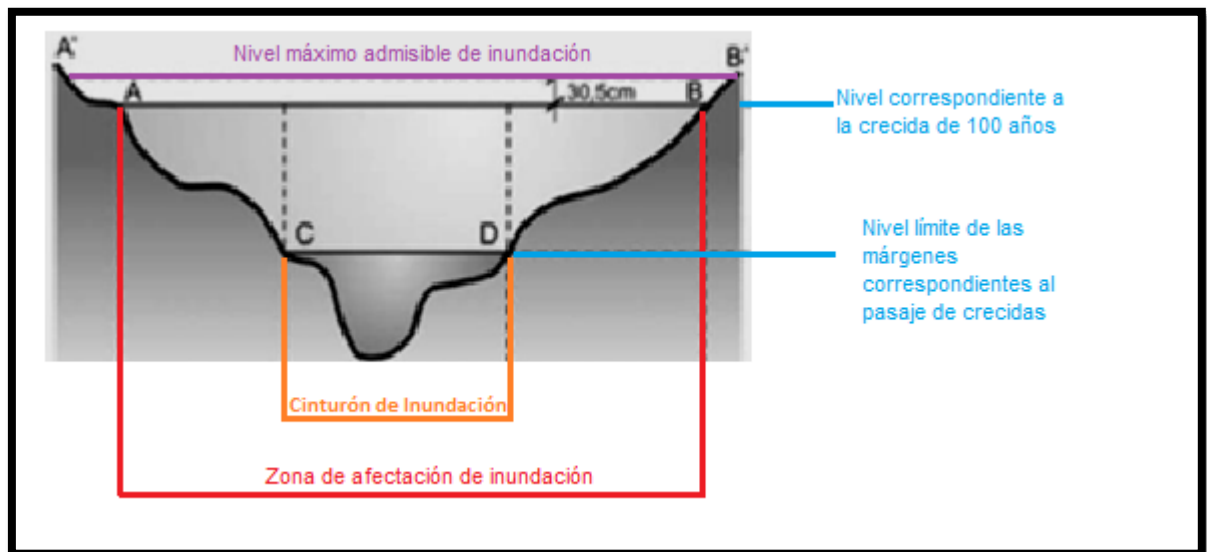


Figura 8. Definición de la zona de pasaje de la creciente.

Fuente: Gestión de Inundaciones Urbanas (Morelli Tucci , 2007)

7. Metodología

7.1. Descripción Zona de estudio.

Con base en la cartografía de la subcuenca Quebrada Chiguaza, de la cual se puede obtener la ubicación, barrios que la contemplan, junto con localidades y demás información, en relación a esto se puede decir:

La subcuenca Quebrada Chiguaza, es afluente del río Tunjuelo, de la cual contempla área de tres localidades, la parte alta de la quebrada y donde nace en los cerros orientales que corresponde a la localidad de San Cristóbal y una pequeña parte de la localidad de Usme, la parte media - baja Rafael Uribe Uribe, ubicada en la localidad de Tunjuelito, estas localidades hacen parte de la ciudad Bogotá.

La Quebrada Chiguaza limita al norte con los barrios Altos del Virrey, Puente Colorado, Panorama, La Cabana Altamira, La Gloria, San Martín de Loba, Rincón del Valle, Los puentes, El Rosal, Urbanización Los Molinos, Ladrilleras Los Molinos de San José, Los Molinos del Sur, Abraham Lincoln, Tunjuelito y San Benito; al sur con la cuchilla de Juan Rey, Quindío II sector. La nueva Gloria, San Jacinto, Urbanización Villa del Cerro, Canadá la Güira II sector, la Península Diana Turbay, Los Molinos II, el Bosque de los Molinos, San Agustín, La Picota Oriental, Área Escuela de Artillería. Al oriente limita con los cerros orientales de Bogotá y al occidente con el río Tunjuelo. Como lugares especiales, destacan el Parque Entre Nubes, el sector el Valle, el sector de los Puentes, el sector de los Molinos I y II y la desembocadura en el río Tunjuelo.

En el Figura 9, se observa la ubicación de la Quebrada Chiguaza, junto con sus afluentes, al igual que el área que interviene cada localidad, es de aclarar que el área tributaria que se muestra allí, es la que actualmente se maneja en la empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá, en el desarrollo del proyecto se encontró el área tributaria, teniendo en cuenta que el zona de inundación de interés es en la que se ve afectada la población.

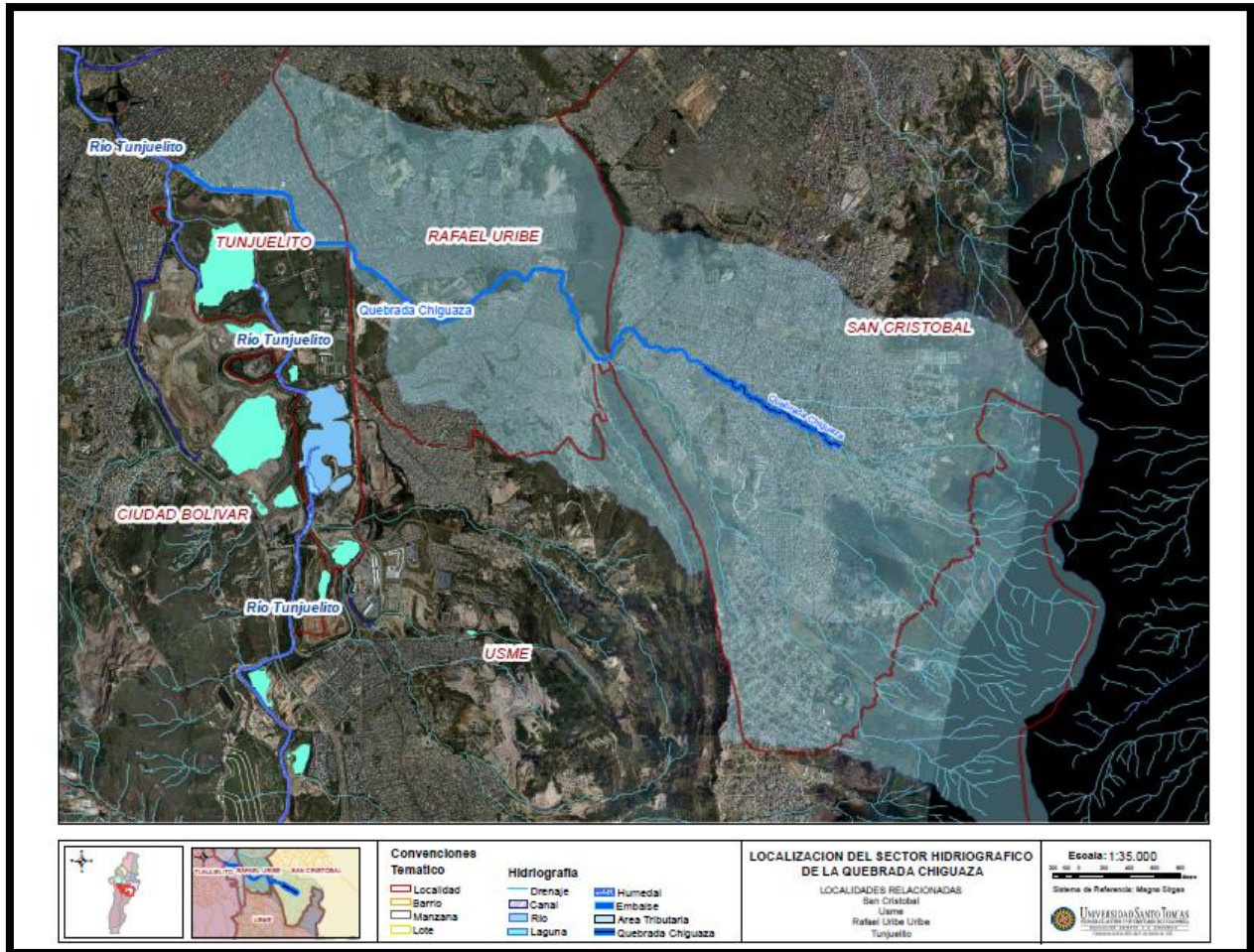


Figura 9. Mapa de la Localización del Sector Hidrográfico de la Quebrada Chiguaza.

Fuente: Elaboración propia

7.2. Análisis de normatividad y procedimientos para la delimitación de rondas hídricas

Para la realización del análisis de la información existente sobre normatividad y procedimientos para la determinación de rondas hídricas, se realizó una búsqueda de fuentes bibliográficas únicamente del tipo documental entre las cuales están

- Decretos, resoluciones, leyes y demás normas dentro del ordenamiento jurídico nacional.
- Documentos e investigaciones realizadas por entes ambientales.
- Enlaces de internet especializados con la temática.

Revisión Bibliográfica, Inicialmente para el desarrollo del proyecto, se realizó una reunión de información de diversas normatividades de aspecto ambiental relacionadas con la franjas de inundación de los cuerpos de agua a nivel nacional y regional que hayan sido emitidas por autoridades competentes. De este modo se tomaron en cuenta asuntos como entes competentes en el estado de los cuerpos de agua, delimitación y tratamiento para la franja de inundación, entre otros. También se buscó información relacionada con procedimientos actuales para la determinación de la franja de inundación de los cuerpos agua, para lo cual no se contó con gran información.

Análisis Normativo, durante la revisión bibliográfica se realiza un análisis de la información adquirida del conglomerado normativo vigente. Adicional a esto se realiza una comparación de la información adquirida, junto con los resultados obtenidos del procesamiento de la información geográfica.

7.3. Procesamiento de la franja de inundación de la Quebrada Chiguaza

Para realizar el desarrollo del objetivo del presente proyecto, el cual era determinar la franja de inundación de la Quebrada Chiguaza, fue necesario realizar un procesamiento de datos por medio de los softwares de modelación hidráulica y procesamiento de datos como HEC RAS y ArcGIS, junto con la Extensión HEC-GeoRAS.

7.3.1. Herramientas utilizadas

❖ HECRAS

El programa HEC RAS (River Analysis System) ha sido desarrollado por el Hydrologic Engineering Center del U.S. Army Corps of Engineers, de los Estados Unidos, siendo uno de los modelos hidráulicos más utilizados en la modelización hidráulica de cauces. HEC-RAS es un programa de hidráulica para modelar el comportamiento de un caudal en un canal artificial o en un cauce natural (ríos y arroyos).

El programa (Figura 10) se descarga gratuitamente en la página web www.hec.usace.army.mil, donde además se puede descargar el manual de usuario, el manual de referencia técnica y ejemplos de aplicación.

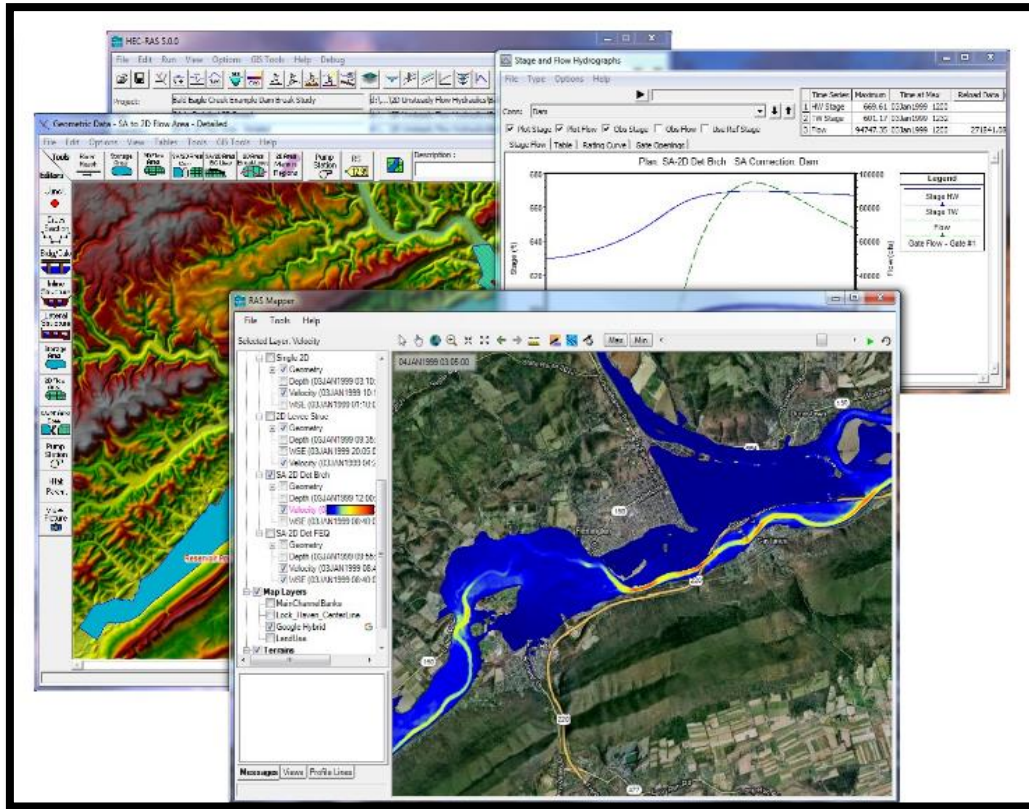


Figura 10. Programa HEC RAS

Fuente: Pagina Web <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>

En cuanto el funcionamiento de HEC RAS, dentro del procesamiento de datos se debe aportar dos tipos de datos: geométricos y de caudales.

- Los datos geométricos fundamentales son diversas secciones transversales a lo largo del cauce o cauces considerados. Dichas secciones se introducen mediante la cota de varios puntos; de este modo, mediante la cota de dos secciones contiguas, separadas por una distancia conocida, el modelo calcula la pendiente de ese tramo.
- El caudal puede ser un solo valor constante o bien un caudal variable en el tiempo.

Para el procesamiento de datos, fue necesario contar con el valor del caudal, este valor se puede estimar mediante procedimientos indirectos y uno de los métodos por los cuales se puede hallar, es por medio del coeficiente de rugosidad de Manning, ya que este método es usado teniendo en cuenta los parámetros de sección hidráulica de conducción y la rugosidad de esa sección. Dentro de los parámetros hidráulicos que se deben tener en cuenta son el área del cauce, el perímetro mojado, el radio hidráulico y la pendiente hidráulica, estos valores se determinan después de definido el tipo de sección, junto con la diferencia de nivel (pendiente), (Guzmán, 2009). La ecuación de Manning, es la

fórmula de flujo uniforme y es la más usada para cálculo de escurrimiento en canal abierto. Para utilizar de forma correcta la ecuación de Manning, es necesario conocer el sistema de unidades a utilizar y con esto poder utilizar el adecuado coeficiente apropiado.

Sistema Internacional: $V = \frac{1}{n} * S^{\frac{1}{2}} * R^{\frac{2}{3}}$

Sistema Ingles: $V = \frac{1.49}{n} * S^{\frac{1}{2}} * R^{\frac{2}{3}}$

Dónde:

V= Velocidad media

n= Coeficiente de rugosidad de Manning

R=Radio hidráulico= (Área mojada/ Perímetromojado)

S= Pendiente de la línea de energía.

Para determinar coeficiente de rugosidad **n**, depende de varios factores, como la rugosidad de la superficie, la vegetación, la irregularidad del canal, el alineamiento del canal, la obstrucción, la sedimentación y erosión. Con lo cual pueden existir problemas para hallar el valor del coeficiente de rugosidad **n** debido a que no existe un método exacto para hallar el valor de **n** (Guzmán, 2009). Para calcular el coeficiente de rugosidad n, se cuenta con unas tablas como la publicada por el U.S Departament of Agriculture en 1955 (Chow, 1994). Para el caso del presente proyecto se trabajara con las tablas suministradas por el programa HECRAS, en cual se muestra unas tablas de valores del coeficiente rugosidad de Manning teniendo en cuenta las características del cauce.

❖ **ArcGIS**

El programa ArcGIS es desarrollado y distribuido por la compañía ESRI Colombia, ArcGIS es un programa de procesamiento de sistemas de información geográfica, por medio de la captura y administración de datos, permite la elaboración de mapas, análisis espacial tradicionales y avanzados, lo cual permita la solución de problemáticas reales, también permite realizar un análisis de información de tipo geográfico, el cual cuenta con herramientas analíticas y un marco de modelado que le permiten realizar prácticamente cualquier tipo de análisis espacial.

ArcGIS for Desktop (Figura 11) se descarga una versión de prueba gratuitamente en la página web <http://desktop.ArcGIS.com/es/>, donde además se puede conseguir información sobre las herramientas y usos de la aplicación.



Figura 11. Programa ArcGIS for Desktop

Fuente: Pagina Web <http://desktop.ArcGIS.com/es/>

7.3.2. Procesamiento con ArcGIS

Para la delimitación de la franja indudable de la subcuenca se realizó un proceso previo con ArcGIS, por medio de la extensión HEC-GeoRAS, con lo cual se generó un archivo que permitió el procesamiento en HEC-RAS, este archivo contiene información geométrica de las secciones transversales del curso del río. Para lograr esto fue necesario tener un MDT (Modelo Digital del Terreno) en formato vectorial TIN (Triangulated Irregular Network) lo más detallado posible. Este modelo se pudo generar con ArcGIS y su extensión 3D Analyst a partir de un fichero DBF (dbase) mediante un fichero de CAD de curvas de nivel en cualquier formato (dxf o dwg), Por medio de este TIN se extrajeron los datos geométricos de las secciones transversales.

❖ Delimitación zona de estudio en ArcGIS 10.1

Con la cartografía inicial, shape de la empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá (EAB), shape de hidrografía de la zona, shape de curvas de nivel y la delimitación de la Quebrada Chiguaza como se observa en la Figura 12. Se realiza la delimitación de la zona de la subcuenca y se realiza un corte del área de interés, usando las curvas de nivel y sus puntos más altos definiendo las líneas divisorias de aguas que encierra todas las quebradas afluentes que conforman la quebrada la Chiguaza.

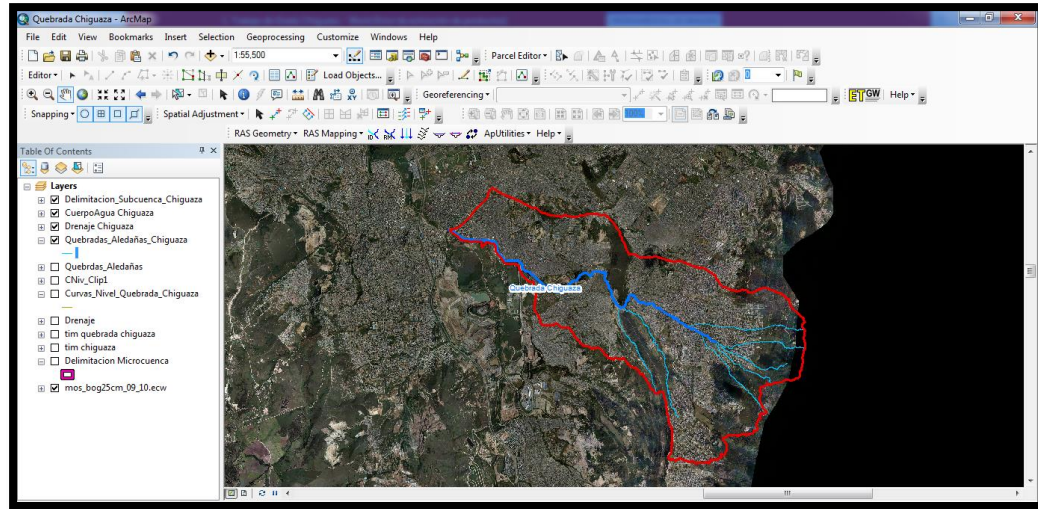


Figura 12. Delimitación zona de estudio

Fuente: Elaboración Propia

❖ Generación TIM

Inicialmente se generó un modelo digital de elevación vectorial TIN (Figura 13), el cual se elaboró por medio de las curvas de nivel, utilizando la herramienta 3D Analyst de ArcGIS, creando 9 clases de acuerdo a la elevación de la superficie. “Las redes irregulares de triángulos (TIN) son un medio digital para representar la morfología de la superficie” (ArcGIS Resource Ceter, 2012).

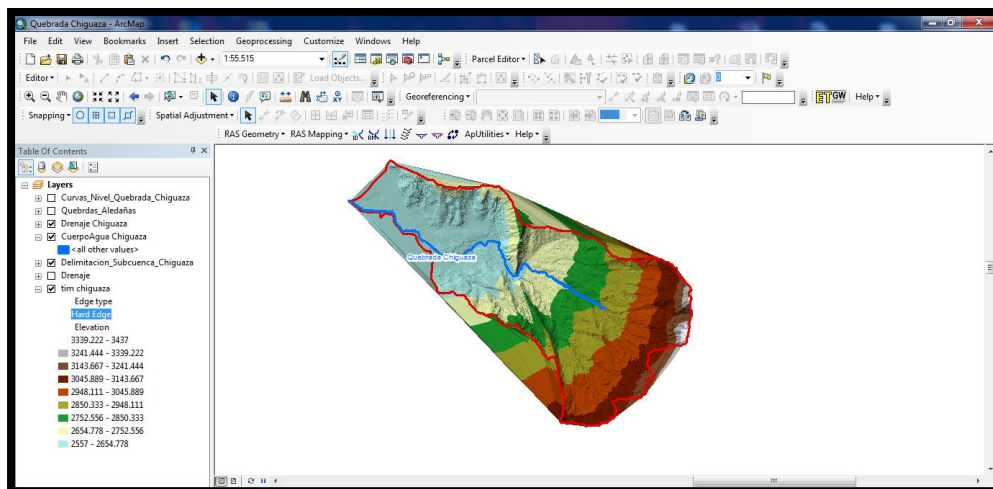


Figura 13. Creación TIM

Fuente: Elaboración Propia

❖ Generación capas con la extensión HEC-GeoRAS

Por medio de la extensión HEC-GeoRAS, permite determinar los parámetros geométricos en diferentes secciones del río las cuales serán usados en el procesamiento en HECRAS.

- a) Central del Río. Por medio de la opción Stream Centerline (Figura 14), se crea la capa de línea central del curso del río. En la ventana emergente se le da el nombre con el que se identificara la línea central en este caso River_Quebrada_Chiguaza. Se realiza la edición con la herramienta línea y se guarda la edición.

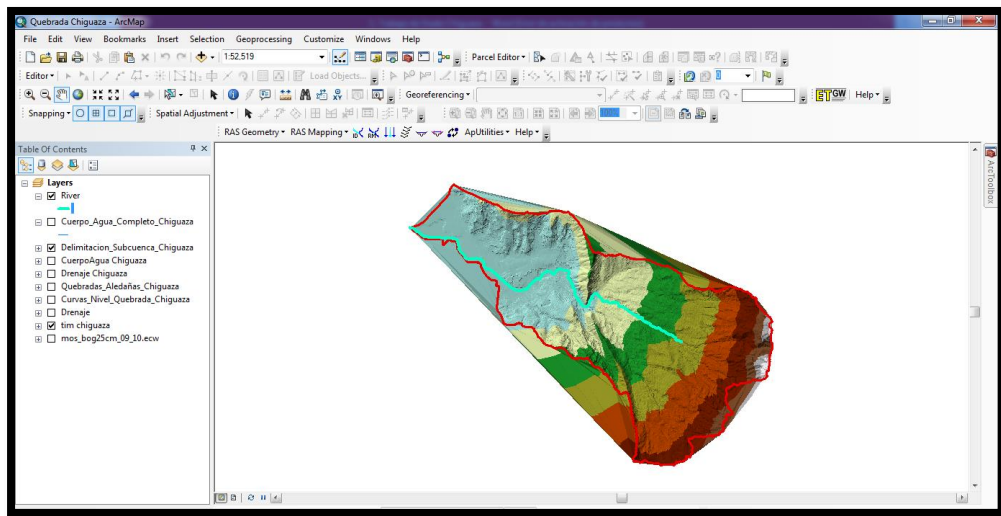


Figura 14. Stream Centerline

Fuente: Elaboración Propia

- b) Hombros del río. Se crean las líneas del terreno que se encuentra a cada lado a lo largo del borde del río como se observa en la Figura 15. Se nombra en este caso Banks_Chiguaza. Se realiza la edición de ambas líneas y se guarda la edición.

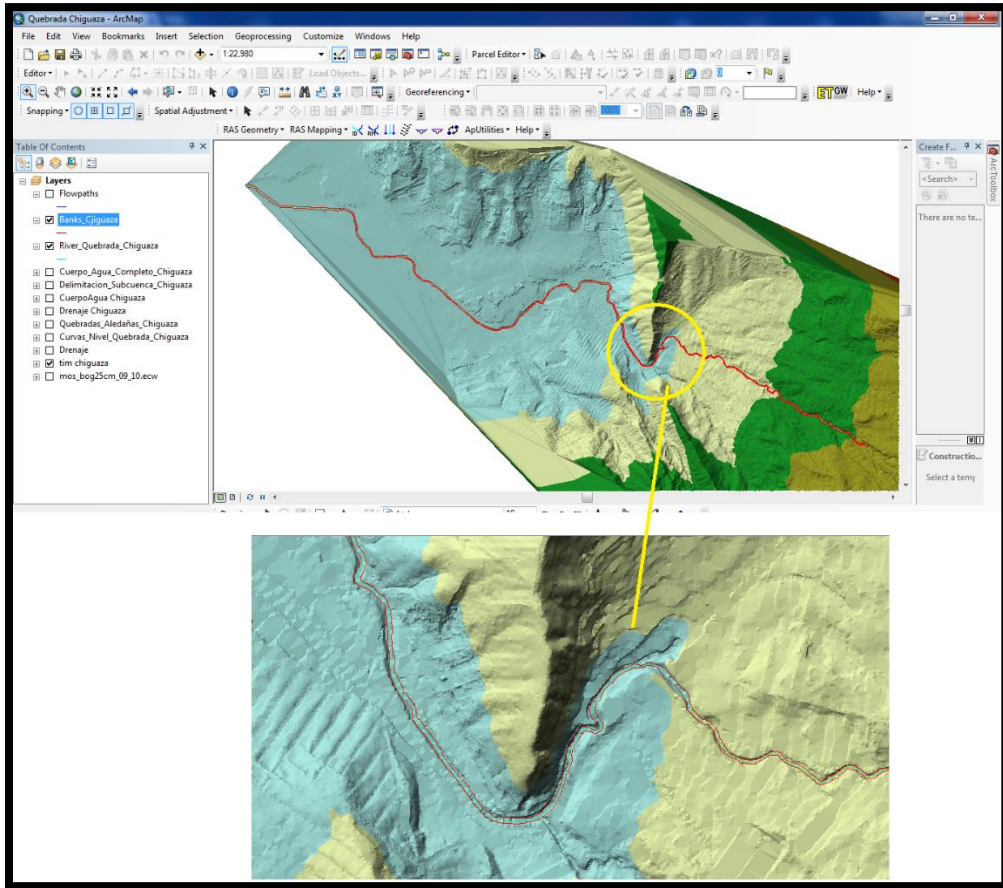


Figura 15. Bank Lines

Fuente: Elaboración Propia

- c) Sentido de Flujo. Se asigna la trayectoria del flujo del río, por medio de la opción RAS Geometry / Create RAS Layer / Flow Path Centerlines, se crea una capa para la trayectoria del flujo, en la ventana emergente se le da el nombre, que para este caso es Flowpath_Chiguaza. Activando la herramienta snapping de ArcGIS, se procede a la edición de las líneas de flujo pasando sobre las líneas de hombros de río nuevamente. Luego de guardar la edición de las líneas de flujo, se les asigna una tipología que define la trayectoria del flujo del río; derecha, canal e izquierda, dependiendo el sentido del flujo del río.

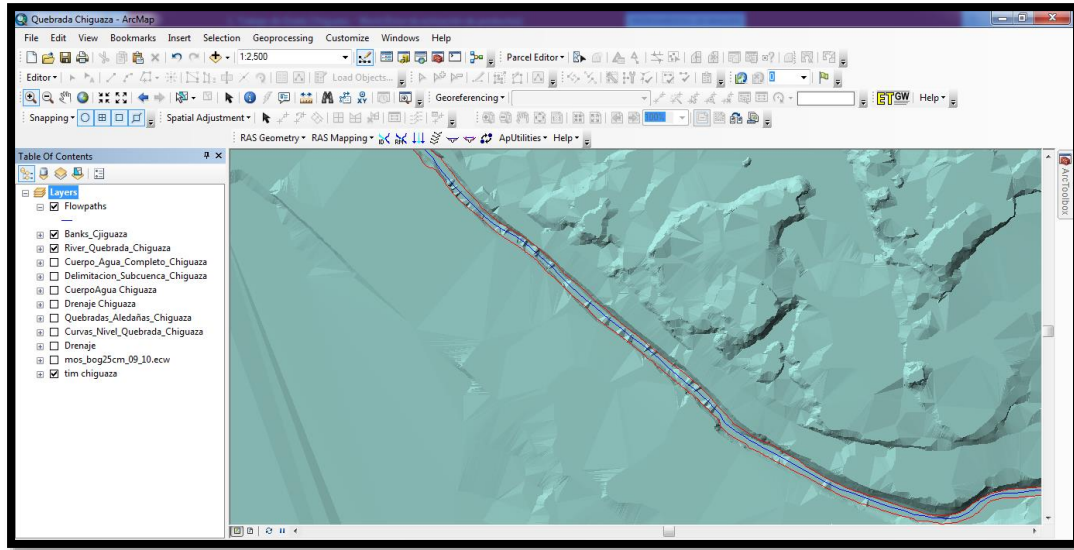


Figura 16. Flow Path

Fuente: Elaboración Propia

- d) Secciones Transversales. Se trazan las líneas de secciones transversales, sin importar el largo de las mismas, cuidando editarlas siempre de izquierda a derecha según se haya definido en las líneas de flujo del río. Estas líneas no deben cruzarse ni empezar en un mismo punto para que no haya errores en el cálculo posterior de la geometría que realizara el complemento HecGeo Ras y se guarda la edición de las líneas transversales.

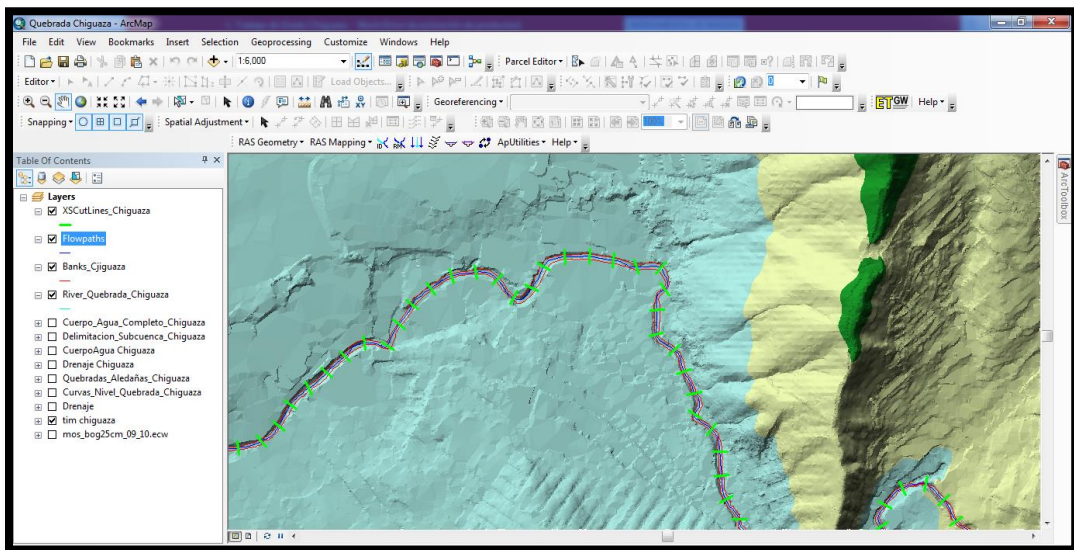


Figura 17. Cross-sectional

Fuente: Elaboración Propia

- e) Cálculo Numérico. Primero se debe la topología por medio de Ras Geometry / Stream Centerline Attributes/Topology, usando la línea de central del río y el TIN de la cuenca (Figura 18), y paso siguiente se aplica la herramienta lengths/Stations, determina las longitudes de las líneas y crea las estaciones que identifican a cada una de las secciones transversales trazadas. Luego se procede a asignar los atributos a las secciones transversales (Figura 19). River/Reach Names, Stationing, Bank Stations (Para las Bank Stations o estaciones de los hombros de río, se selecciona la capa correspondiente a las líneas de hombros), Downstream Reach lengths y Elevations. Para asignar las elevaciones se utiliza la capa de las secciones transversales y el TIN de la cuenca. Automáticamente creará un perfil 3D que para este caso se llama XSCutLines_Chiguaza3D.

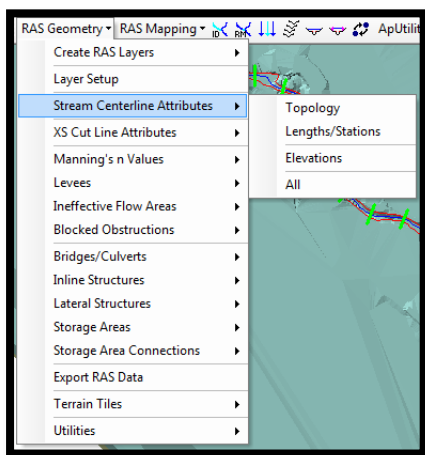


Figura 18. Create River Topology

Fuente: Elaboración Propia

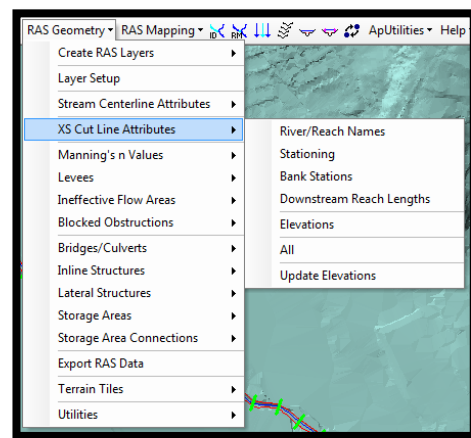


Figura 19. XS Cut Line Attributes

Fuente: Elaboración Propia

- f) Por último se exporta el archivo RAS, que se utilizará posteriormente como geometría del cauce en el programa HEC RAS (Figura 20), se selecciona la ubicación del archivo y el nombre del mismo.

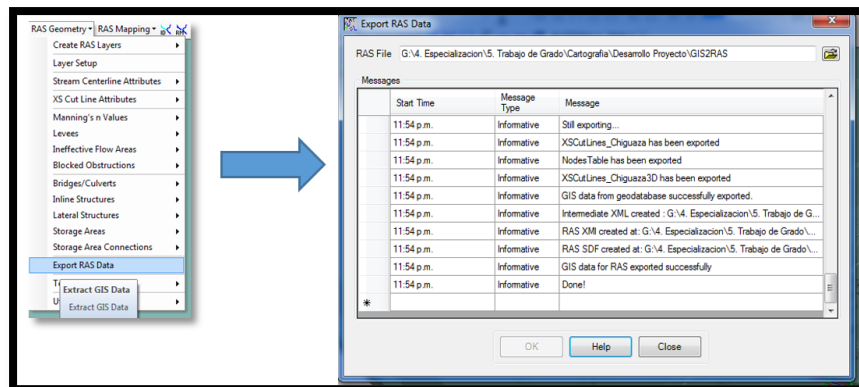


Figura 20. Export RAS Data

Fuente: Elaboración Propia

7.3.3. Procesamiento en HEC RAS

❖ Datos Geométricos en HEC RAS

Se crea un nuevo proyecto en HECRAS, se procede a importar los datos de las secciones transversales del cauce del río. Los puntos rojos indican los cruces con los hombros de río (Figura 21). Se guardan los datos de la geometría.

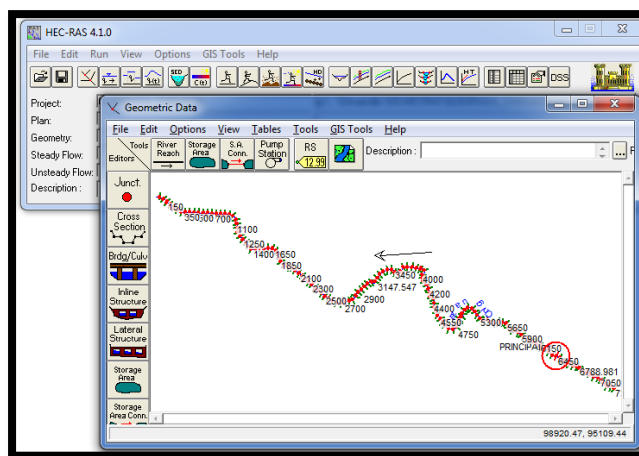


Figura 21. Secciones transversales sobre HEC RAS

Fuente: Elaboración Propia

Se realiza la revisión y edición de las secciones transversales, para lo cual accedemos a Editors and/or Cross section. Si se presentara un error en la edición de las secciones transversales realizadas en ArcGIS, las secciones que presenten conflicto identificando el número de estación, podrían eliminarse en este editor.

Se observaran gráficamente los perfiles de las secciones transversales (Figura 22) y se les asignará el coeficiente n de rugosidad de Manning para el margen derecho, izquierdo y centro del río. El gráfico muestra la longitud de la sección vs la elevación. Con las flechas se avanza por cada una de las secciones de la geometría, permitiendo la edición de las mismas de ser necesario realizar modificaciones en las mismas. Para asignar el coeficiente de rugosidad, se puede utilizar la tabla de valores que incluye el programa en el botón señalado en la figura.

En el estudio para un cuerpo de agua las características del suelo y su rugosidad pueden cambiar a lo largo del tramo por lo que el programa permite el ingreso individual de los coeficientes para cada una de las secciones.

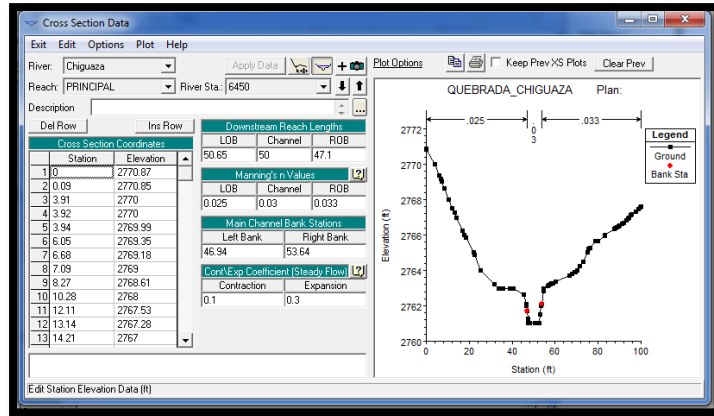


Figura 22. Perfil secciones transversales

Fuente: Elaboración Propia

Para elegir los valores para el coeficiente de Manning a utilizar, se consulta la ayuda del cuadro de Manning *n* Values el cual despliega un archivo PDF manual de HEC RAS, que contiene una tabla con coeficientes de acuerdo al tipo de canal del río (Figura 23). Se selecciona el más apropiado de acuerdo a las características del canal descritas en dicha tabla.

Chapter 3—Basic Data Requirements

Table 3-1 Manning's 'n' Values

Type of Channel and Description	Minimum	Normal	Maximum
A. Natural Streams			
1. Main Channels:			
a. Clean, straight, full, no rifts or deep pools	0.025	0.030	0.033
b. Same as above, but more stones and weeds	0.030	0.035	0.040
c. Clean, winding, some pools and shoals	0.033	0.040	0.045
d. Same as above, but some weeds and stones	0.035	0.045	0.050
e. Same as above, lower stages, more ineffective slopes and sections	0.040	0.048	0.055
f. Same as "d" but more stones	0.045	0.050	0.060
g. Sluggish reaches, weedy, deep pools	0.050	0.070	0.080
h. Very weedy reaches, deep pools, or floodways with heavy stands of timber and brush	0.070	0.100	0.150
2. Flood Plains:			
a. Pasture no brush			
1. Short grass	0.025	0.030	0.035
2. High grass	0.030	0.035	0.050
b. Cultivated areas			
1. No crop	0.020	0.030	0.040
2. Mature row crops	0.025	0.035	0.045
3. Mature field crops	0.030	0.040	0.050
c. Brush			
1. Scattered brush, heavy weeds	0.035	0.050	0.070
2. Light brush and trees, in winter	0.040	0.060	0.080

Figura 23. Tabla de coeficientes de Manning

Fuente: Elaboración Propia

Para este cuerpo de agua se eligieron los primeros valores 0.025 – 0.030 – 0.033 correspondientes a un canal (limpio, recto completo sin grietas ni pozos profundos). Se ingresan estos valores n cada una de las secciones ya que es importante para la simulación que se realizara posteriormente. Se guardan los cambios realizados y se encuentra terminada la geometría para la simulación.

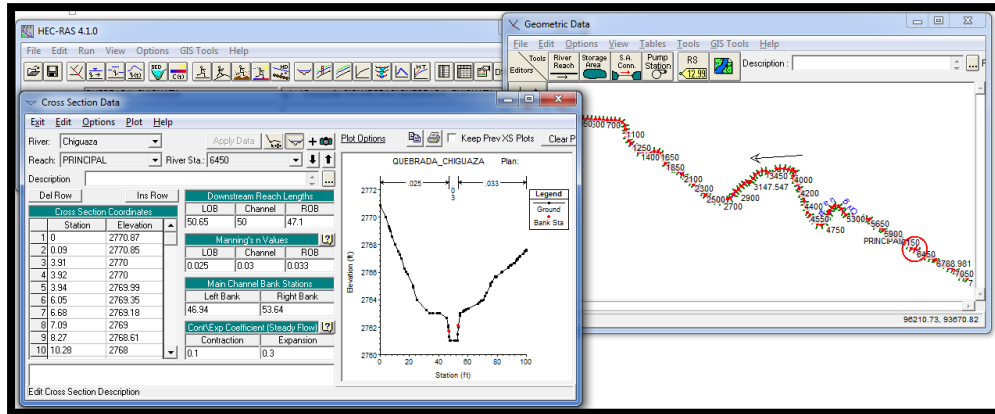


Figura 24. Asignación de los valores de coeficientes de Manning.

Fuente: Elaboración Propia

❖ Datos de flujo permanente

Por medio de la opción Edit/ Enter Steady flow data (Figura 25), se ingresa los datos de flujo permanente, los cuales corresponde a los números de perfiles que se van a evaluar, en nuestro caso se evaluarán 4 perfiles a 10, 20, 50 y 100 años. Dentro de estos perfiles se diligencian los caudales calculados para los periodos de retorno a esos años, estos datos fueron suministrados por el Magister en Ingeniería Civil Luis Esteban Montaña Forero, quien por medio del Fondo de Prevención y Atención de Emergencias – FOPAE, obtuvo información hidrometeorológica del periodo de 2008 a 2013, de las estaciones que se encuentran en la subcuenca de Chiguaza y poseían estos registros, las cuales fueron Estación Juan Rey, Moralba y San Benito. (Forero, 2015)

Debido a existen diversos métodos para el cálculo de los periodos de retorno a partir de caudales los cuales requieren un nivel de conocimiento en hidráulica e hidrología, que es un campo de manejo para los hidrólogos especializados e Ingenieros Civiles, razón por la cual no se mostrará el procedimiento para la determinación de los caudales sino únicamente los resultados presentados por el Ingeniero.

Se sabe que para el cálculo de los mismos son tenidos en cuenta los caudales tomados por las estaciones hidroclimáticas estos pueden ser datos históricos de caudal o precipitación sean estos diarios semanales, mensuales o trimestrales, de mínimo 5 años de registro; además del tipo de materiales que conforman el suelo que rodea el cuerpo de agua pues de ellos depende el grado de socavación que vaya generando con el tiempo el cuerpo de agua a lo largo de su trayectoria.

- Perfil 1 – 10 Años: 61.10 m³/s
- Perfil 2 – 20 Años: 81.60 m³/s
- Perfil 3 – 50 Años: 118.10 m³/s
- Perfil 4 – 100 Años: 131.60 m³/s

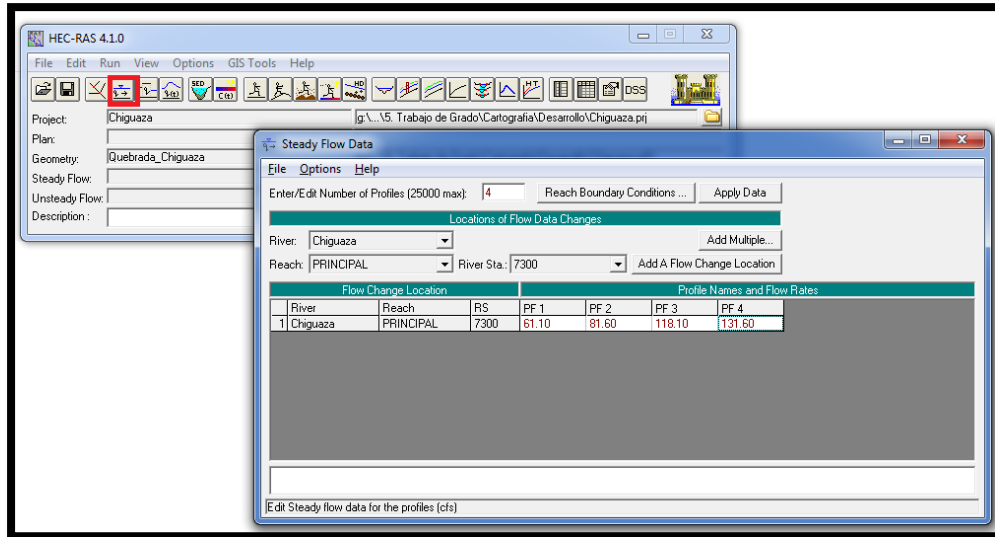


Figura 25. Datos de flujo permanente

Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 25, se observa la ventana en donde se ingresan los valores de los perfiles mencionados anteriormente, al igual que en la opción Reach Boundary Conditions, se introduce las condiciones de contorno para el flujo constante.

Para las condiciones de contorno según el manual de HEC-RAS River Analysis System, hay cuatro opciones posibles:

1. Superficie de aguas conocida: En donde se introduce el valor conocido de elevación de la superficie, para cada uno de los perfiles que se calcula.
2. Profundidad crítica: No se requiere introducir algún valor o información adicional. El programa calculará profundidad crítica para cada uno de los perfiles y usar eso como la condición de contorno.
3. Profundidad normal: Para este tipo de condición de contorno, se requiere introducir la pendiente de la línea de energía que se utilizará en el cálculo de la profundidad normal (utilizando la ecuación de Manning) en esa ubicación. Una profundidad normal se calcula para cada perfil basado en la pendiente introducida por el usuario. En general, la pendiente de la energía puede ser aproximado mediante el uso de la pendiente media de la canal, o la inclinación de la superficie del agua en el entorno de la sección transversal.
4. Curva índice: Cuando se selecciona este tipo de condición de frontera, una ventana pop-up aparece permite al usuario introducir una elevación frente a la curva clasificación de flujo. Para cada perfil, la elevación se interpola a partir de la curva de dado el flujo, mediante la interpolación lineal entre los puntos introducidos por el usuario.

Para este caso, se tiene en cuenta que el terreno de la quebrada Chiguaza es pendiente, se escoge profundidad normal. El cual se obtiene de la diferencia total de elevación del cauce principal (cota máxima – cota mínima), dividida por su longitud total (Lc):

$$S_m = \frac{H_{max} - H_{min}}{L_c} = \frac{3437 - 2557}{7307} = 0.120432462$$

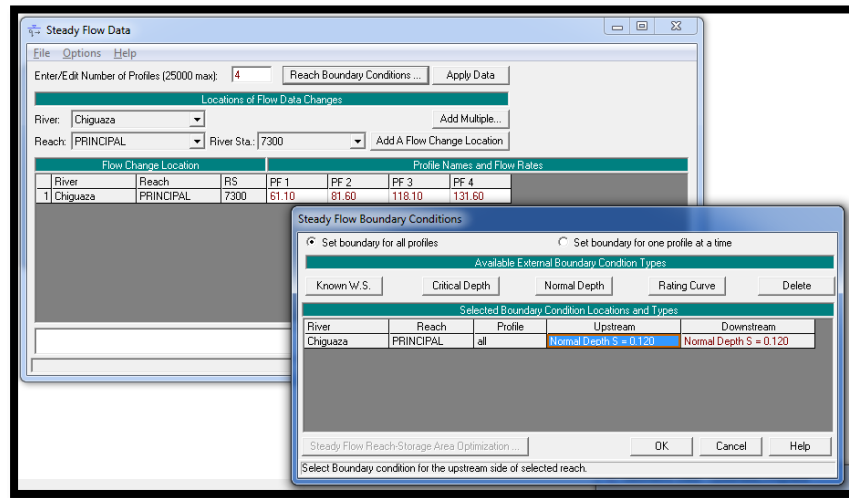


Figura 26. Steady Flow Data
Fuente: Elaboración Propia

❖ Simulación para el flujo permanente

Para la realización de la simulación del flujo, se hace mediante la opción perform a steady flow simulation , donde se elige el régimen del flujo que para este corresponde a Superficial en la Figura 27, se observa las ventanas correspondientes y como se verifica que el proceso queda correctamente.

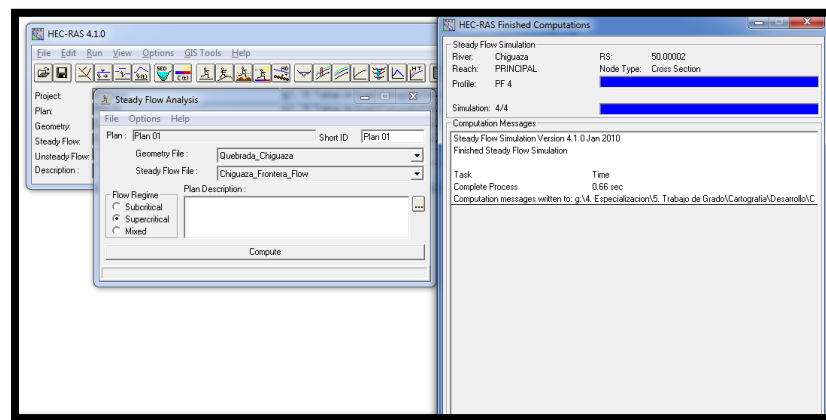


Figura 27. Simulación del flujo
Fuente: Elaboración Propia

Ahora para visualizar la simulación del flujo se hace mediante la opción View 3D multiple cross section plot , por medio del cual se muestra el flujo del río y el cauce normal y por medio del botón animación, se puede analizar el comportamiento del flujo para los diferentes perfiles introducidos en los datos de flujo. En la Figura 28, se ve el comportamiento que tiene el caudal en los diferentes periodos de retorno.

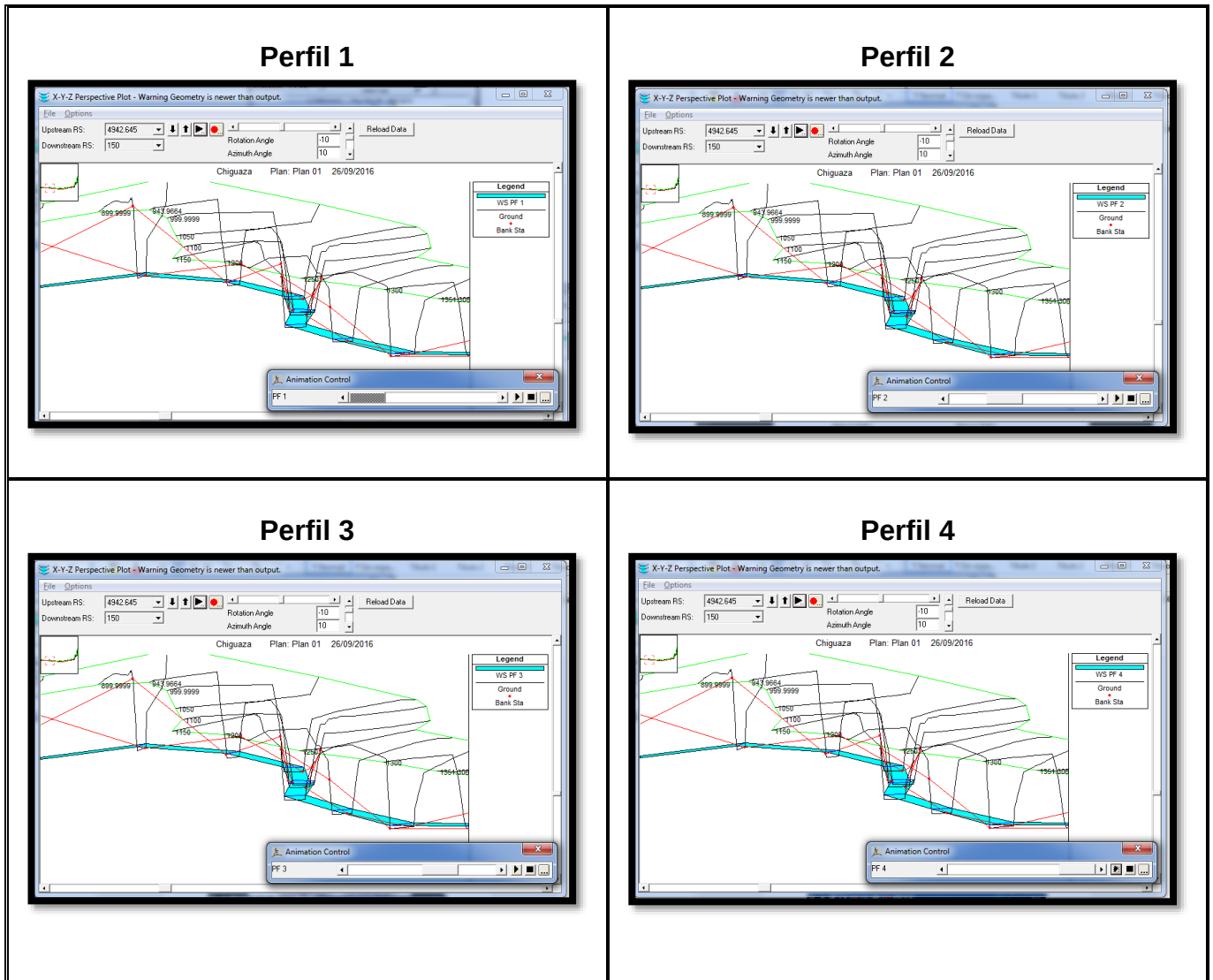


Figura 28. Perspectiva 3D del flujo del río

Fuente: Elaboración Propia

Se observa en los perfiles generados en la simulación que el cambio del flujo es casi imperceptible, esto se debe a que el cuerpo de agua objeto de estudio tiene un caudal muy bajo y la pendiente del terreno ayuda a la no acumulación de fluido en las zonas altas, se habla entonces que en los periodos de altas precipitaciones hay crecientes súbitas lo que podría generar avenidas

torrenciales por la velocidad que puede alcanzar el movimiento del agua en la pendiente.

❖ Generación archivo GIS para visualización del flujo.

Se procederá ahora a la exportación del archivo GIS que posteriormente se llevara al programa ArcGIS, donde se podrán visualizar los diferentes perfiles sobre el terreno del área de estudio y se podrá analizar la información gráfica que permitirá determinar el área de ronda hídrica adecuada para la Quebrada Chiguaza.

Sobre la ventana principal del programa Hec Ras, por medio de la opción Export GIS Data, en donde se seleccionaran los perfiles a exportar que para el caso en estudio son para periodos de 10, 20, 50 y 100 años y se determinará la ubicación y nombre del archivo de salida, para el ejercicio práctico que se está realizando no interesan las demás opciones, únicamente la información de las superficies de agua o láminas de agua generadas (Figura 29).

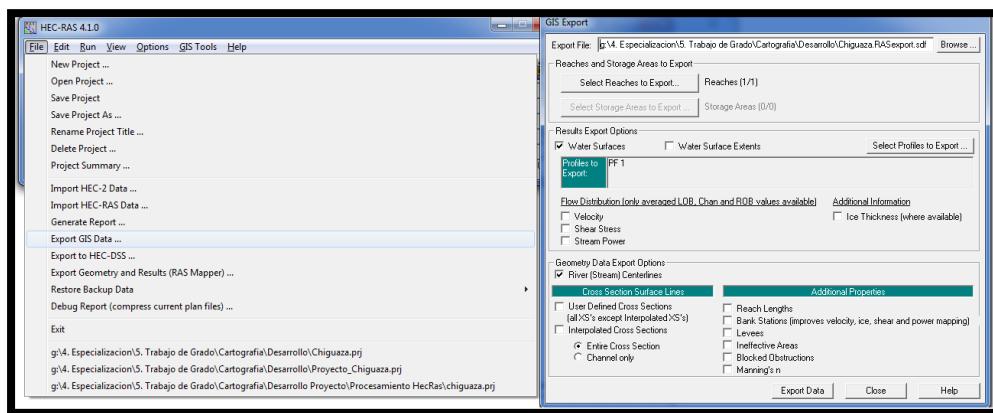


Figura 29. Export GIS Data

Fuente: Elaboración Propia

❖ Visualización en ArcGIS

Para la visualización de la exportación del archivo GIS, se debe crear un nuevo proyecto de ArcGIS, por medio de la opción RAS Mapping / Import RAS DATA de la barra de Hec-GeoRAS, para el cual es necesario introducir el archivo generado por HecRas con extensión .sdf, que será transformado a extensión .xml pues es éste el formato que maneja ArcGIS (Figura 30).

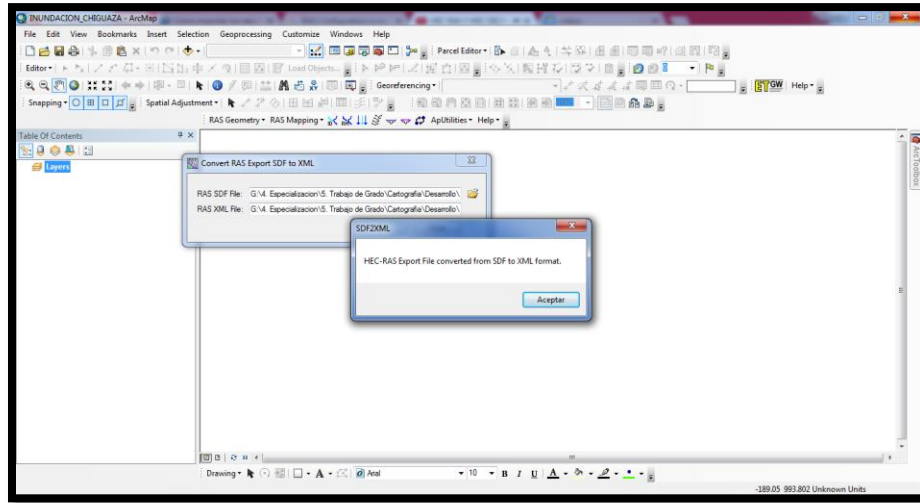


Figura 30. Import RAS DATA

Fuente: Elaboracion Propia

Por medio de la opción RAS Mapping /Layer Setup, se introduce el archivo .xml generado en el paso anterior, el terreno utilizado que corresponde al TIN utilizado al principio del proceso para la creación de las secciones trasversales y solicita ingresar la carpeta de salida del archivo y el tamaño de celda que puede ser 10 para el ejercicio práctico que se está realizando. (Figura 31).

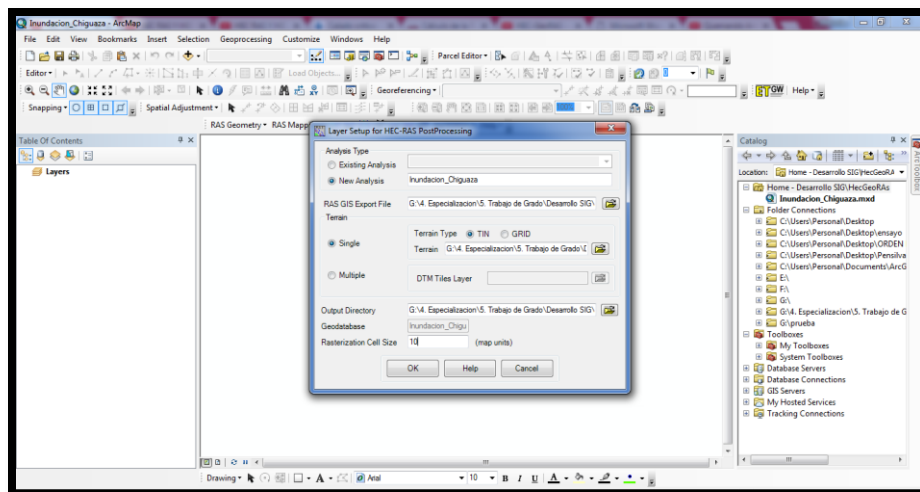


Figura 31. Layer Setup

Fuente: Elaboracion Propia

Mapping / Import RAS Data, donde por default aparece el archivo en los pasos anteriores. Comienza el programa a cargar los datos creados en HEC RAS pero en formato shp, para ArcGIS se crean nuevos layer correspondientes a la geometría inicial y final. Se observa la trayectoria del río con la línea azul, las orillas y los hombros de río (Figura 34).

50

En la opción Inundation Mapping de RAS Mapping /Water Surface Generation, se escoge los perfiles (Figura 35), para lo cual se genera un nuevo TIN con las secciones de los cuatro perfiles como se observa en la Figura 36.

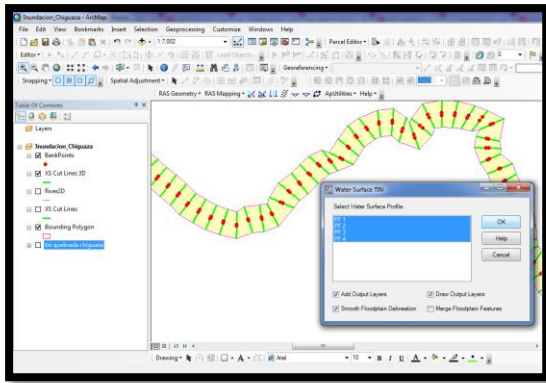


Figura 35. Water Surface Generation
Fuente: Elaboracion Propia

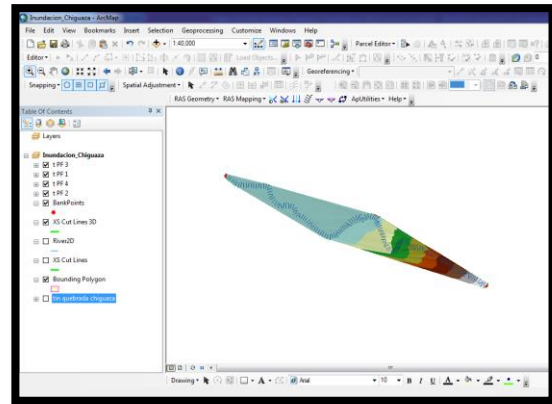


Figura 36. TIN generado para los perfiles
Fuente: Elaboración Propia

A través de la opción Inundation Mapping/Floodplain Delineation Using Rasters, se seleccionan nuevamente los cuatro perfiles (Figura 37), lo cual crean nuevos layer correspondientes a los perfiles como se observa en la Figura 38, estas láminas de agua se hallaron de acuerdo al gasto hidráulico que se calculó e ingreso en HEC RAS.

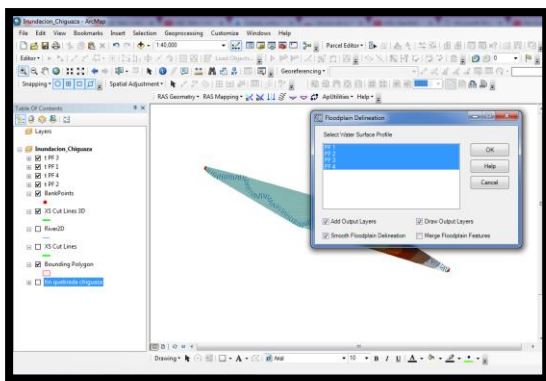


Figura 37. Floodplain Delineation Using Rasters
Fuente: Elaboracion Propia

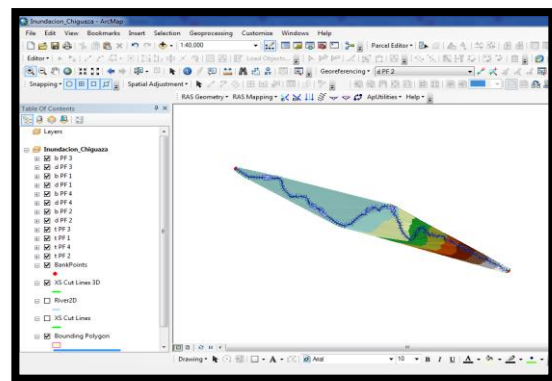


Figura 38. Láminas de agua de las zonas inundables
Fuente: Elaboracion Propia

7.4. Elaboración de Cartografía de la franja de inundación de la quebrada Chiguaza.

Teniendo en cuenta los resultados de los análisis de la información de la franja de inundación de la quebrada Chiguaza y teniendo en cuenta que por medio de esta se puede hallar el número de predios afectados, lo cual puede ser de gran ayuda para la toma de decisiones para el mejoramiento de las condiciones de la quebrada, al igual que de los habitantes de la zona.

Con base en esto se diseñan plantillas .mxd para la generación de cartografía temática. Teniendo en cuenta un formato dentro del cual se maneja especificaciones básicas separadas por secciones (Figura 40), como lo es ubicación, leyenda o convenciones, escala y sistema de proyección.

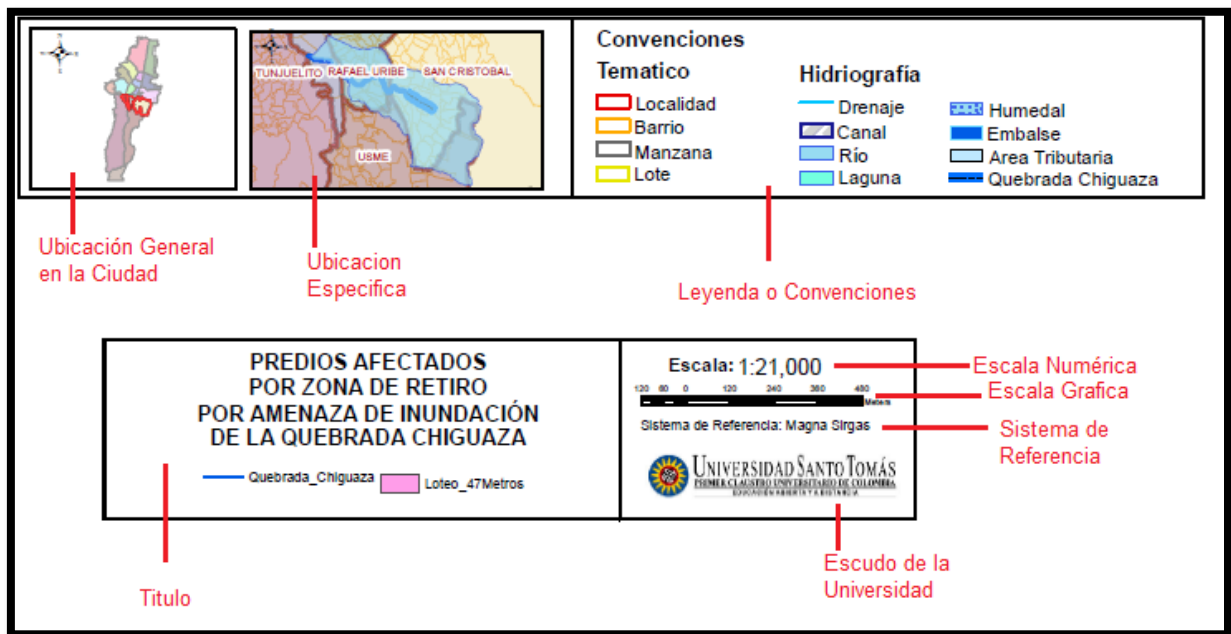


Figura 40. Secciones del formato

Fuente: Elaboración Propia

7.5. Evaluación de las condiciones de la Quebrada Chiguaza y todo su entorno.

Para el desarrollo de la evaluación de las condiciones de la Quebrada Chiguaza, se ejecutó mediante la inspección en terreno de los sectores aledaños a la Quebrada, para conocer las condiciones actuales de la zona y de la quebrada. Esta inspección fue posible mediante trabajo previo en oficina como lo fue la delimitación y la identificación previa de la zona mediante la cartográfica elaborada. Al igual la realización del diagnóstico ambiental, permitió conocer el tipo de terreno y características posibles con las cuales se podrían encontrar en terreno.

No se dispuso de criterios, debido a que lo que se quería lograr era conocer las condiciones de la zona, sin tener que clasificar en variables específicas, pero si se contaba con unas bases a verificar como lo fue la cercanía de las viviendas a la quebrada, las condiciones de las viviendas dentro de los cual incluye materiales de construcción, forma, disposición de servicios públicos, tipo de población, contaminación por la incorrecta disposición de los residuos sólidos, visible en las zonas verdes aledañas a la quebrada y la contaminación de la fuente hídrica por residuos sólidos y por flujos de agua de alcantarillados locales.

La inspección se realizó desde la Carrera 13B Este conocida como la vía antigua al llano, por la Diagonal 47 sur, hasta llegar al río Tunjuelito.

8. Análisis y Resultados

8.1. Análisis de normatividad y procedimientos para la delimitación de rondas hídricas

Se encontraron varias normas, las cuales se hace relevancia al tema de la franja de inundación de los cuerpos de agua.

Decreto 2811 de 1974, que corresponde al Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección del Medio Ambiente, por medio del cual se regula que debe existir una franja de 30 metros a cada lado del cauce natural de un río o cuerpo de agua, área que es un bien inembargable e imprescriptible del Estado. Al igual que indica que para cualquier explotación u ocupación de áreas de los cauces, es necesario el debido permiso de las autoridades competentes. Una parte importante del Decreto indica que cualquier dueño de predios aledaños a la ribera del cauce, están obligados a dejar libre el área de cualquier construcción o cultivos, para darles el uso que está autorizados por la ley.

Acuerdo 16 de 1998, en este se regula los determinantes netamente ambientales para la elaboración de los planes de ordenamiento territorial municipal, en el cual indica que las franjas de los cuerpos de agua deben ser por lo menos de 100 metros y mínimo de 30 metros contado de cada lado del cuerpo de agua.

Decreto 1640 de 2012, por medio del cual indica reglamentan los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas, el cual considera el manejo de los recursos naturales al momento de realizar un plan de ordenación y manejo de cuenca, para con esto determinar la autoridad correspondiente encargada de delimitación de las rondas hídricas y velar por que se cumplan los requisitos establecidos según lo indicado en el art 28.

Proyecto de ley 365 de 2005, en este se establece la delimitación de rondas como un instrumento primario de ordenamiento, para la determinación de la ronda se tiene en cuenta el nivel máximo por las aguas alcanzado hasta en 30 metros para la zona de protección según características de la zona; sin embargo la limitación de la distancia a la ronda es un error hasta que no hayan los respectivos estudios técnicos que determinen que según las condiciones geomorfológicas y características del suelo esta distancia es suficiente, asimismo se habla de un periodo de recurrencia de 15 años, tiempo insuficiente debido a los drásticos cambios del clima de los últimos tiempos si se hiciera a tan corto plazo se generarían sobre costos para la nación por lo que los tiempos para el cálculo de periodos de retorno debería ser superior y evaluando a situaciones muy críticas lo que permitiría una delimitación adecuada por el bien de la población, el territorio y su planificación.

Durante la investigación, enfocada a la franja de inundación de la Quebrada Chiguaza, no se encontró alguna norma puntual referentes a la delimitación del área de inundación, pero realizando el estudio con lo que se encuentra actualmente en

la zona y lo que cada norma anteriormente mencionadas, es evidente que la norma de la franja de inundación en este caso como muchos otros presentados en la ciudad, no se ve reflejada con lo que se ve en la zona, debido a que se han presentado múltiples problemas de inundación debido a que en el área de protección del cuerpo de agua, se encuentran actualmente viviendas en zona de alto riesgo no solo por inundación, sino también por eventos de remoción en masa y de avenidas torrenciales. A raíz estas múltiples problemáticas que se presentan alrededor de los cuerpos de agua y en conjunto con las nuevas políticas de cambio climático que se están llevando actualmente en la ciudad de Bogotá, está el mejoramiento de las condiciones de las fuentes hídricas, para lo cual se establece el Decreto 25 de 2013, documento donde se establece el programa de reasentamiento de familias en condiciones de alto riesgo de la ciudad de Bogotá, incluyendo en ese decreto a la Quebrada Chiguaza.

Se encontraron varios procedimientos o resoluciones que cada corporación establece basados en criterios según estudios realizados a los cuerpos de agua. Para este caso, a nivel regional se encontró la “Guía metodológica para la delimitación de zonas de ronda en la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR”, elaborado por Subdirección de Administración de Recursos Naturales y Áreas Protegidas en el año 2014, en esta guía se describe toda la parte normativa nacional las cuales corresponden a las normas mencionadas anteriormente y otros tenidos en cuenta como la constitución política de Colombia, el Decreto 1541 de 1978, el Decreto 1449 de 1977, la Ley 388 de 1997 entre otros (CAR, 2014). Seguido de la normatividad legal presenta una descripción de cada uno de los elementos que son necesarios para el estudio de definición de ronda, como lo son:

- Levantamiento topográfico
- Posicionamiento geodésico
- Levantamiento topobatimétrico
- Modelo digital de Terreno
- Análisis eco sistémico
- Estudio hidrológico
- Estudio hidráulico
- Zonificación y usos recomendados del suelo

8.2. Análisis del procesamiento de la franja de inundación de la Quebrada Chiguaza.

De acuerdo con los resultados generados en la simulación de inundación utilizando la aplicación HEC RAS, puede deducirse que el uso de la misma es efectivo pues se trata de un software que incorpora la información física y de caudal de un cuerpo de agua además tiene diversas características que pueden incluirse dentro de la modelación que aunque no fueron utilizadas en el ejercicio práctico son útiles para tener en cuenta; pues puede incorporarse información de puentes y construcciones en el trayecto de un río, puede dársele más precisión al modelo incluyendo datos locales de velocidad de la corriente en diferentes secciones transversales, entre otras.

A través del procesamiento de los datos geográficos de la Quebrada, en la aplicación de ArcGIS y HEC RAS, se puede observar en las Figuras de la 41 a la 44, los resultados de la simulación del área de inundación por cada periodo de retorno de 10, 20, 50 y 100 años respectivamente, dentro de estos resultados no es posible observar grandes cambios entre periodos tanto en la parte geográfica que es la franja de inundación, como los datos numéricos del Grid, esto se debe a las características de la quebrada, ya que presenta terrenos muy accidentados con pendiente suaves de 15% aproximadamente, adicional a esto la forma tiende ser alargada, por estas condiciones la quebrada aumenta en anchura aguas abajo, en la medida que disminuye la pendiente, por tanto aguas abajo aumenta el caudal y su velocidad.

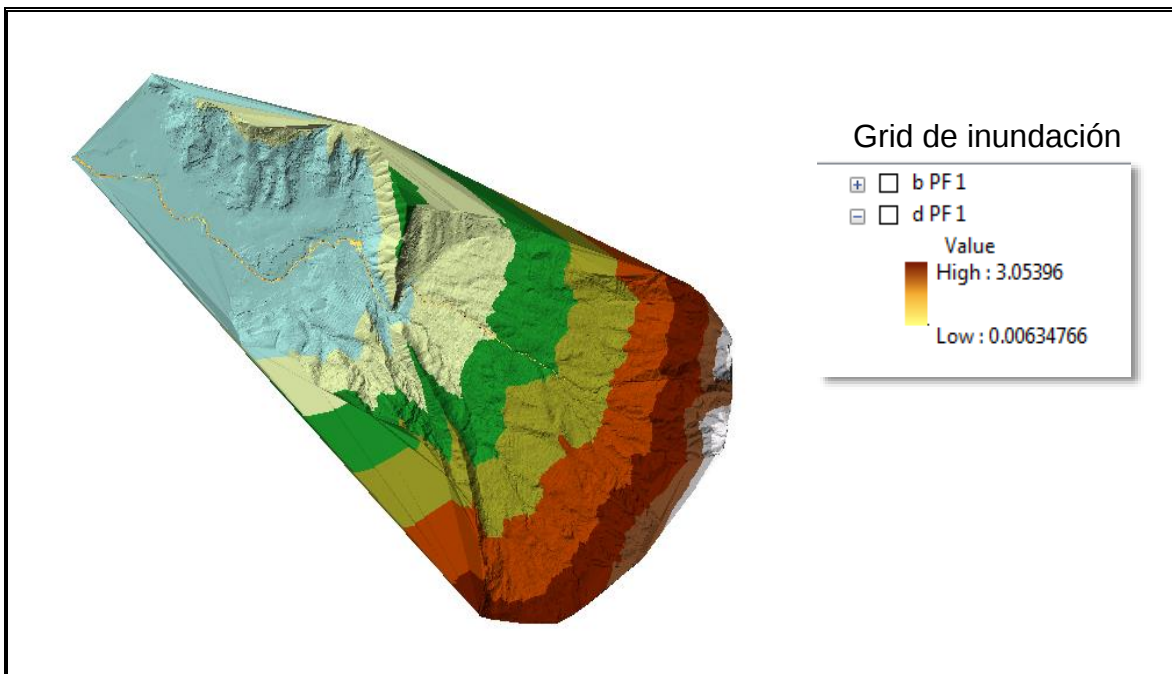


Figura 41. Perfil 1. Periodo de retorno de 10 años

Fuente: Elaboración Propia

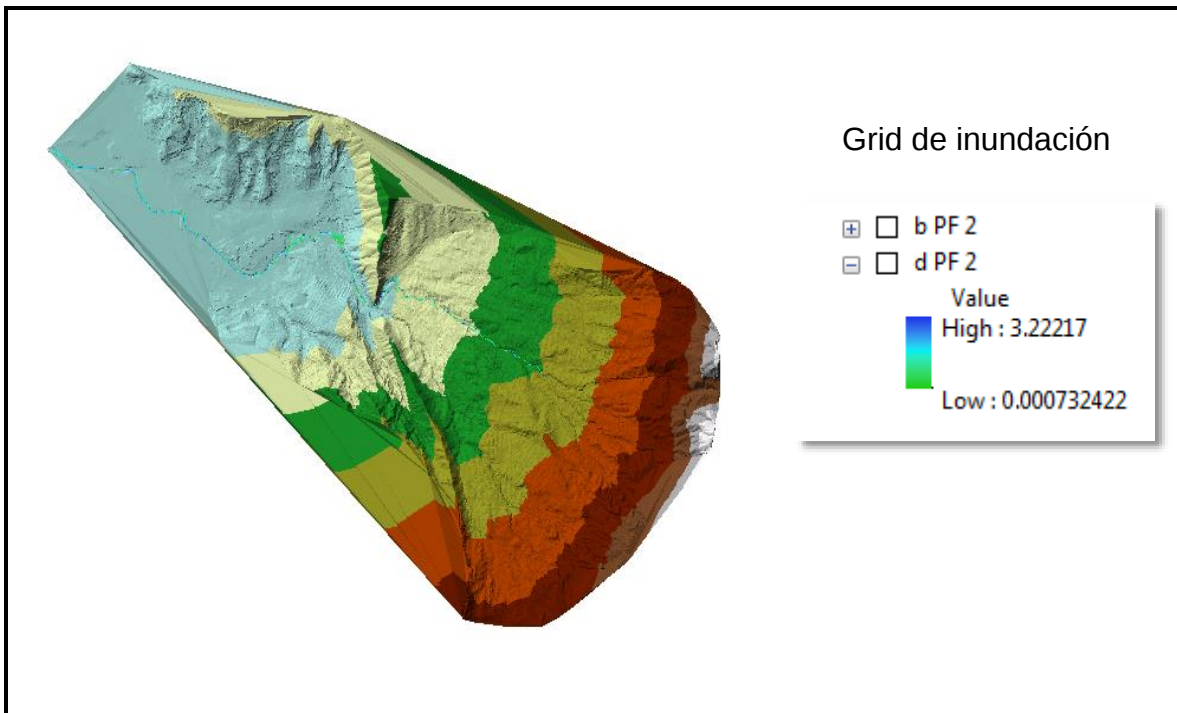


Figura 42: Perfil 2. Periodo de retorno de 20 años

Fuente: Elaboración Propia

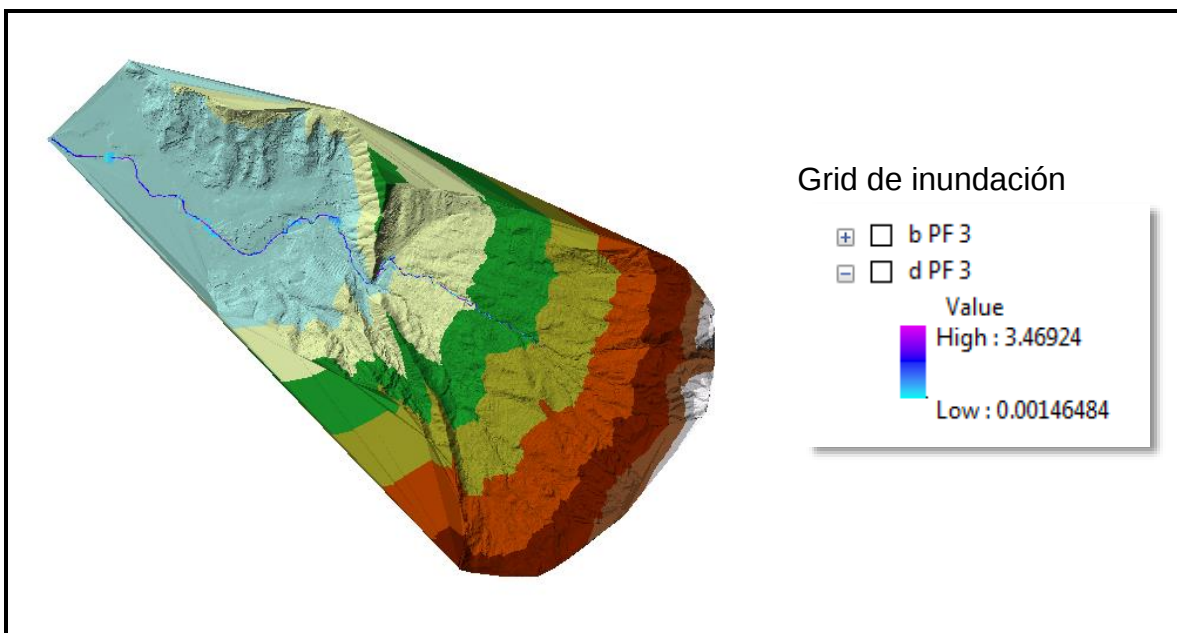


Figura 43: Perfil 3. Periodo de retorno de 50 años

Fuente: Elaboración Propia

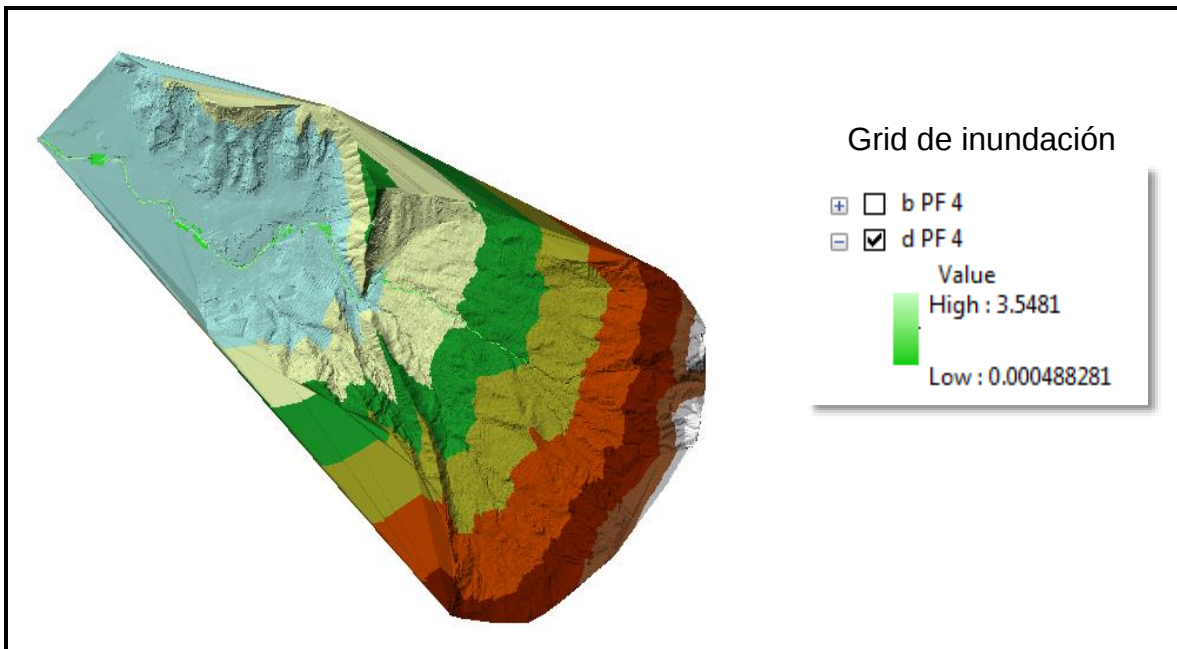


Figura 44: Perfil 4. Periodo de retorno de 100 años

Fuente: Elaboración Propia

Teniendo en cuenta la información de los grid de inundación (Figuras 41 a 44), para los diferentes perfiles, el mayor límite de inundación se presenta en el periodo de retorno de 100 años con una profundidad de 3.5481 metros, siendo este el nivel máximo calculado por el programa HEC RAS para este perfil. A partir de esta información se genera la Figura 45 en la cual se muestra la lámina de inundación producida de la simulación y el área de los predios aledaños los cuales son puntos críticos en tema de posible desbordamiento, sin embargo la longitud de la lámina tomada transversalmente como lo muestra la Figura 45, no supera un ancho máximo de los 95 metros, siendo a orillas de la lámina la profundidad inferior a 0.01m, lo que se toma como una profundidad casi despreciable.

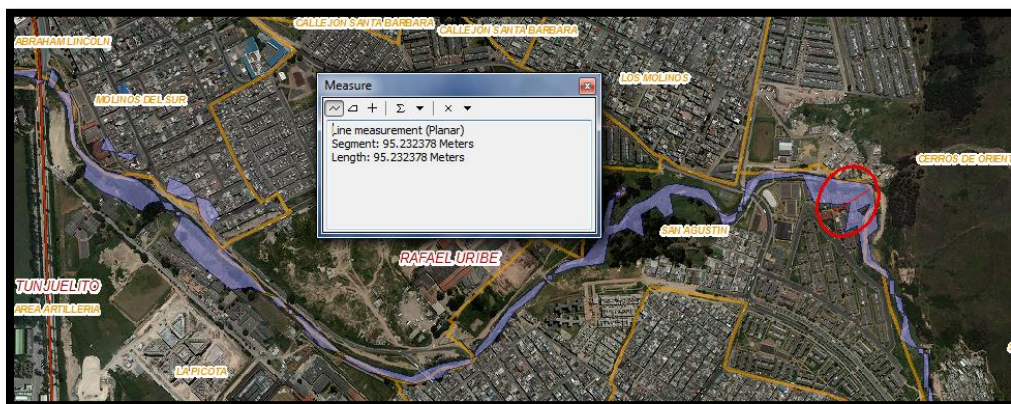


Figura 45: Medida transversal de la lámina de inundación de la Quebrada Chiguaza

Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 46, se evidencia por completo la superficie de inundación de la Quebrada Chiguaza, en la cual presenta resultados continuos, esto debido a las características de su topografía, ya que es una topografía plana ligeramente inclinada.

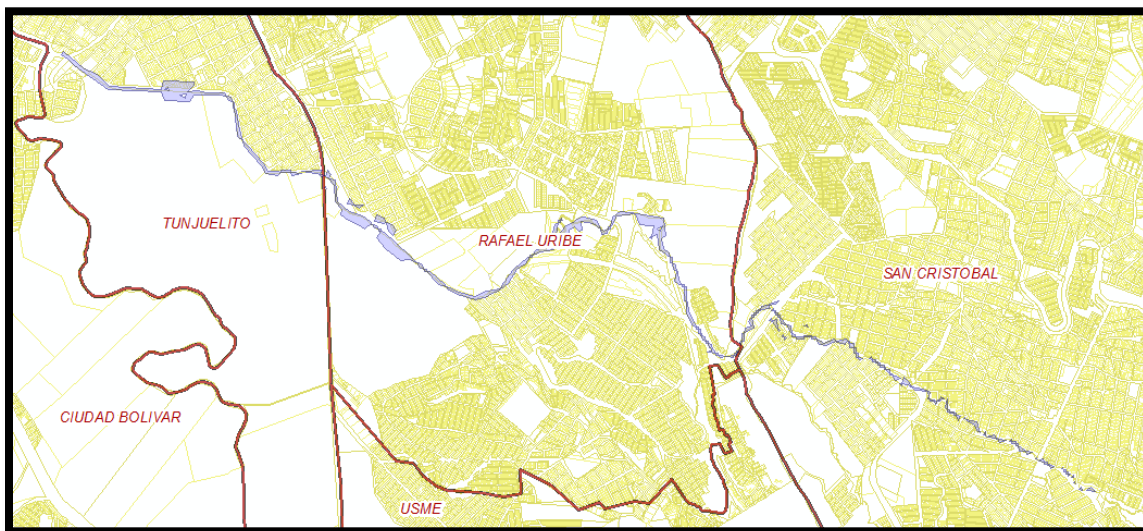


Figura 46: Superficie de inundación de la Quebrada Chiguaza.

Fuente: Elaboración Propia

Dentro del análisis realizado en toda el área, se destaca un sector (Figura 47) sobre el barrio San Agustín, donde se evidencia que la lámina de inundación producida de la simulación, se encuentra sobre una zona de urbanizaciones y viviendas consolidadas, siendo este un punto crítico en posibles desbordamientos. Esto también se puede evidenciar en las Figuras 48 - 49, donde se observa que las viviendas ubicadas en la orilla de la quebrada.

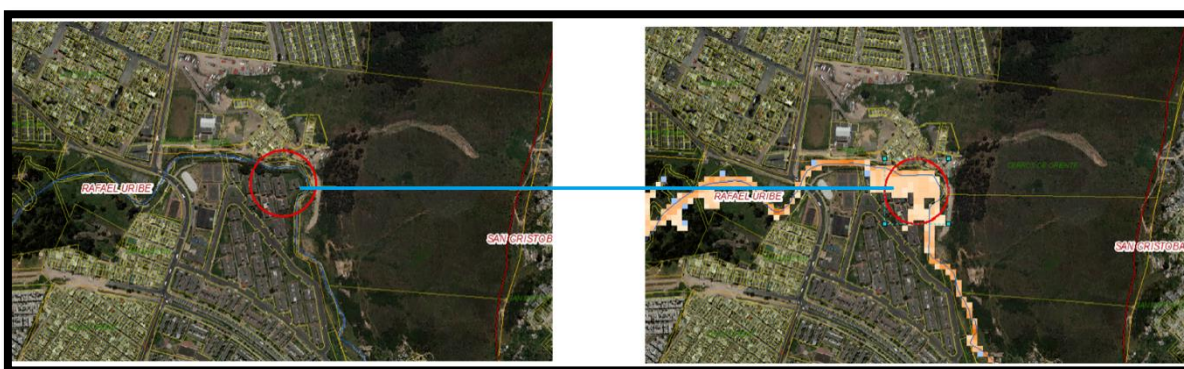


Figura 47: Superficie de Inundación sobre la zona urbanizada.

Fuente: Elaboración Propia



Figura 48: Vista del Costado oriental de viviendas ubicadas en la orillas de la Quebrada Chiguaza

Fuente: Elaboración Propia

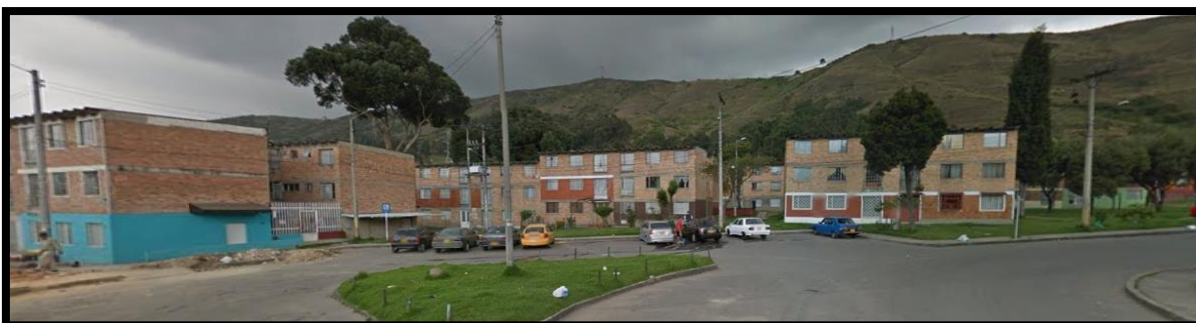


Figura 49: Vista del Costado occidente de viviendas ubicadas en la orillas de la Quebrada Chiguaza

Fuente: Elaboración Propia

A continuación se realizará un estudio comparativo entre los resultados obtenidos por medio de la simulación de HEC RAS y la normatividad actual. Durante este estudio, se realizara un análisis de los predios afectados por la franja de inundación, es necesario utilizar la imagen satelital, junto con la capa de loteo para observar con mayor detalle los predios afectados, como por ejemplo en la Figura 50, se observa que en la capa de lotes aparece solo un lote pero comprando con la imagen satelital son más predios con las mismas características constructivas.

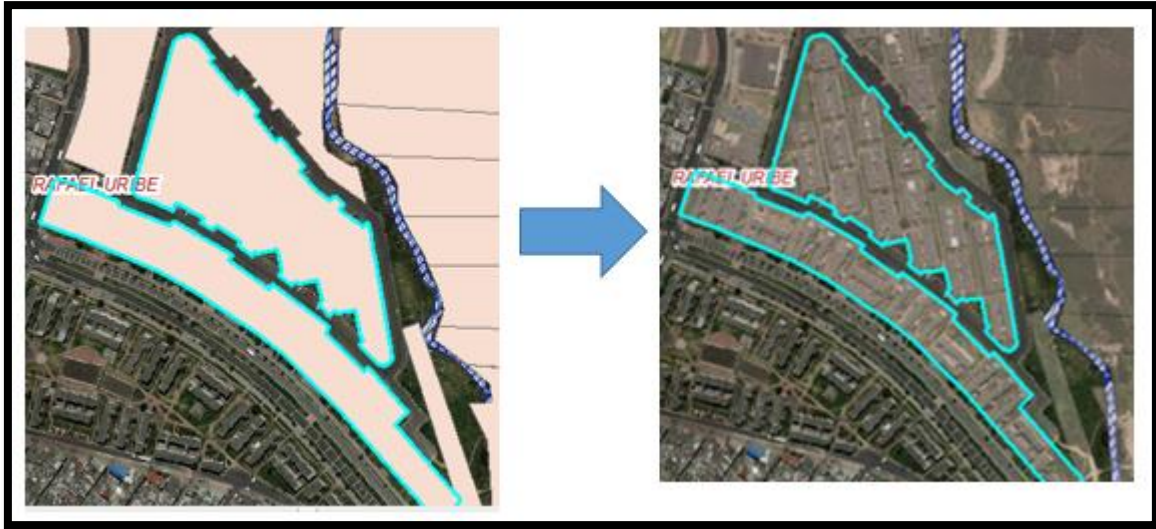


Figura 50: Comparación de la capa de loteo con la Imagen Satelital.

Fuente: Elaboración Propia

8.2.1. Simulación HEC RAS

Con base en los resultados obtenidos en la simulación de la aplicación HEC RAS, respecto al valor de la longitud de la lámina, el cual fue de 47.5m correspondiente a cada lado de la quebrada, por medio de esto se puede realizar la simulación de esta área como la franja de inundación de la Quebrada Chiguaza. Como se evidencia en la Figura 51, la franja ocuparía una gran parte de la zona urbanizada.

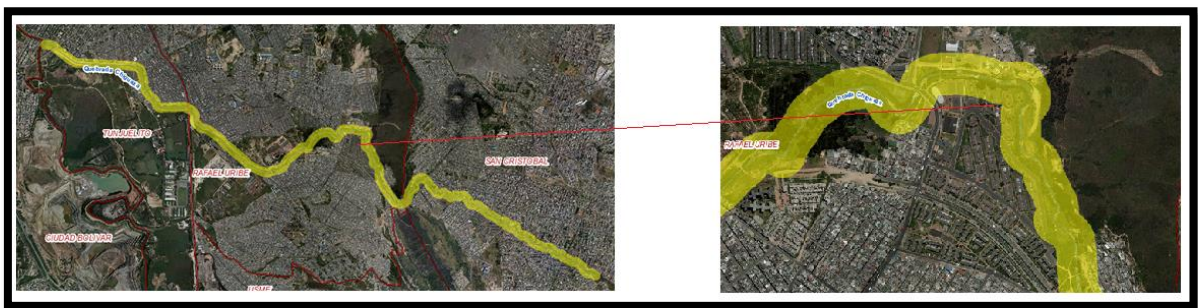


Figura 51: Simulación franja de Inundación de 47.5 metros.

Fuente: Elaboración Propia

A partir de la franja de inundación se realiza un análisis geográfico para saber exactamente cuáles son los predios que se ven afectados por la franja de inundación, en la Figura 52 se puede visualizar 1703 lotes los cuales se encuentran sombreados de color fucsia, pero por las variaciones de la información predial este valor puede aumentar en cuanto al número de viviendas, estos predios son los que se verían afectados parcial o totalmente por amenazas de inundación o avenidas torrenciales.

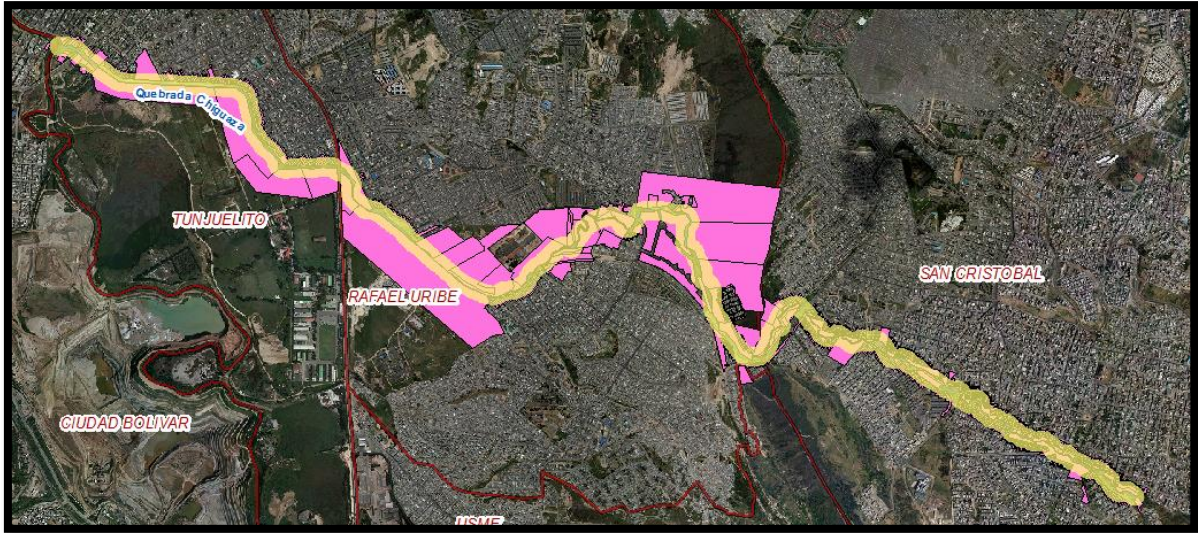


Figura 52: Zona Inundable con franja de 47.5 m de la Quebrada Chiguaza.

Fuente: Elaboración Propia

8.2.2. Simulación Normatividad

Para el análisis de la normatividad presente de las áreas de protección de los cuerpos hídricos, a nivel nacional se encuentra el código nacional de recursos naturales Decreto Ley 2811 de 1974 el cual indica que una franja de 30 metros a cada lado del cauce natural de un río, pero que durante el estudio realizado se encontró que la normatividad en este caso de la zona de la Quebrada Chiguaza, las áreas de protección pueden variar de forma que beneficie a terceros y demás, antes de hacer valer la protección de los recursos naturales y su preservación. Al igual hay que considerar que dentro de la normatividad colombiana se le da potestad a las corporaciones autónomas para que acoten la faja paralela a los cauces dentro del marco de sus competencias sin olvidar que también debe estar bajo el marco normativo del CNRN, como lo menciona la Ley 1450 de 2011.

Para efectos comparativos, se tomará como longitudes de lámina de inundación reales de tal manera que los resultados arrojados muestran que para un ejercicio de planificación del territorio y teniendo en cuenta los conceptos tomados de Decreto 190 de 2004, la zona de protección ambiental hidráulica, corresponde a 30 metros a partir de la línea de marea máxima, para todos los cuerpos de agua de la Ciudad de Bogotá.

En la Figura 53 se observa la simulación de la franja de inundación de 30 metros teniendo en cuenta esta distancia, se puede analizar que efectivamente, el incumplimiento de las normas.



Figura 53: Simulación franja de Inundación de 30 metros

Fuente: Elaboración Propia

Por medio de la franja de inundación se puede hacer un análisis geográfico para saber exactamente cuáles son los predios que se ven afectados por la franja de inundación, en la Figura 54 se puede visualizar 931 lotes, pero por las variaciones de la información predial este valor puede aumentar en cuanto al número de viviendas, estos predios son los que se verían afectados parcial o totalmente por amenazas de inundación o avenidas torrenciales.



Figura 54: Zona Inundable con franja 30m de la Quebrada Chiguaza

Fuente: Elaboración Propia

8.3. Cartografía de la franja de inundación de la Quebrada Chiguaza.

Por medio de la simulación obtenida de los resultados de la aplicación de HEC RAS, con una franja de inundación de 47.5 metros, se procedió a elaborar una mapa temático donde se evidenciara los predios afectados.

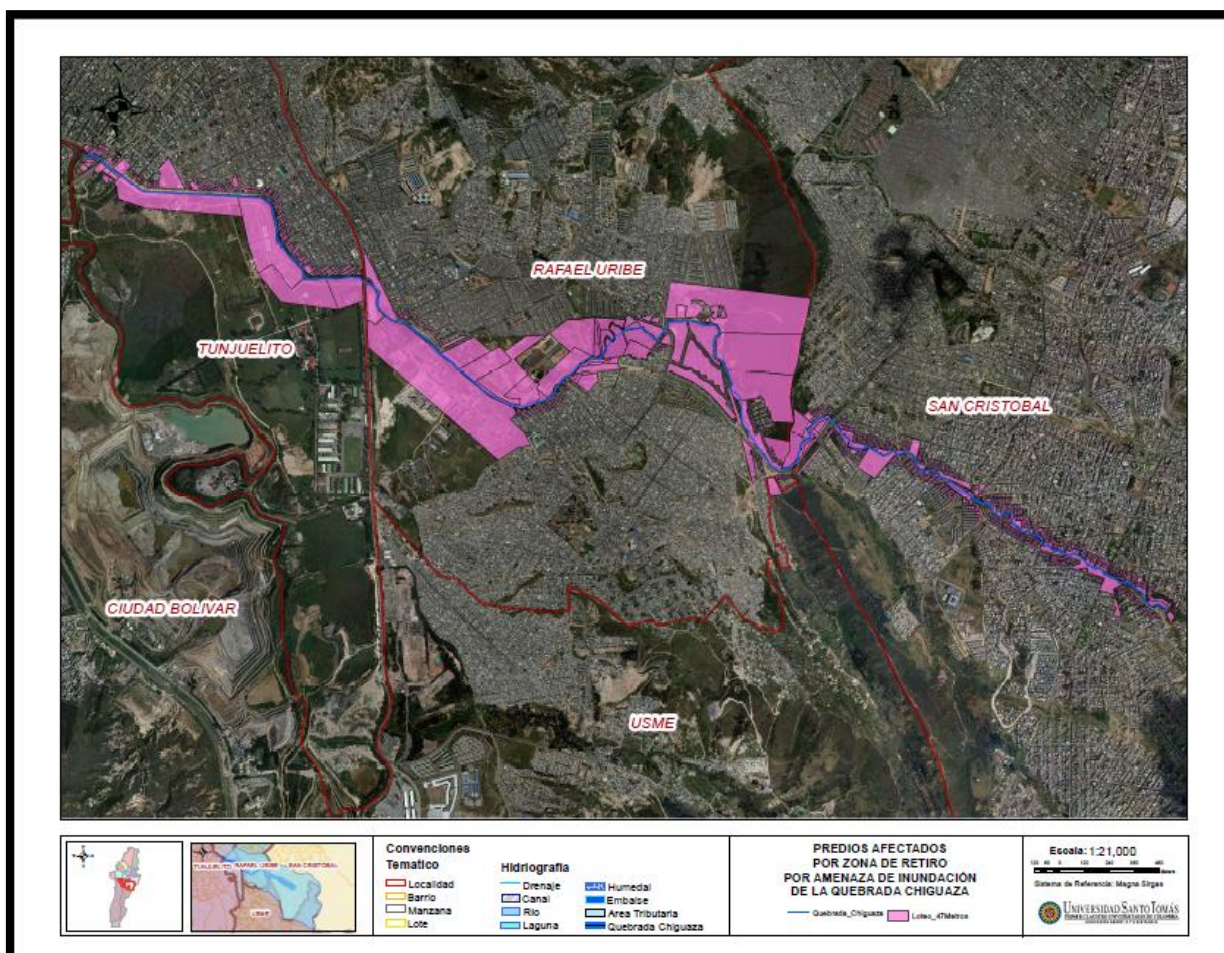


Figura 55: Mapa de los Predios afectados por zona de retiro por amenaza de inundación de la Quebrada Chiguaza

Fuente: Elaboración Propia

8.4. Evaluación de las condiciones de la Quebrada Chiguaza y todo su entorno.

Durante el recorrido se observó la construcción de viviendas en materiales inadecuados como madera, plásticos, los cuales incrementan los riesgos de presentar eventos de inundación, remoción en masa, como por ejemplo en la Figura 56 se observa unas viviendas en la orilla de la Quebrada Chiguaza ubicada en el límite entre el barrio Altamira y el barrio Quindío.



Figura 56: Evidencia de ubicación de viviendas construidas en materiales inadecuados

Fuente: Elaboración Propia

Este tipo de viviendas construidas con materiales inadecuados, son construidas por personas en estado de desplazamiento, que encuentran una oportunidad en este tipo de viviendas, sin medir las consecuencias que acarrea asentarse en la ladera de la quebrada.

También se encontraron viviendas ubicadas en la orilla de la quebrada (Figura 57), que se encuentra en una pendiente mayor al 15%, en la cual se observa materiales escarpados y en estas condiciones al momento de presentarse un evento de fuerte precipitación, el suelo puede presentar inestabilidad debido a la erosión y ocurrir derrumbes.

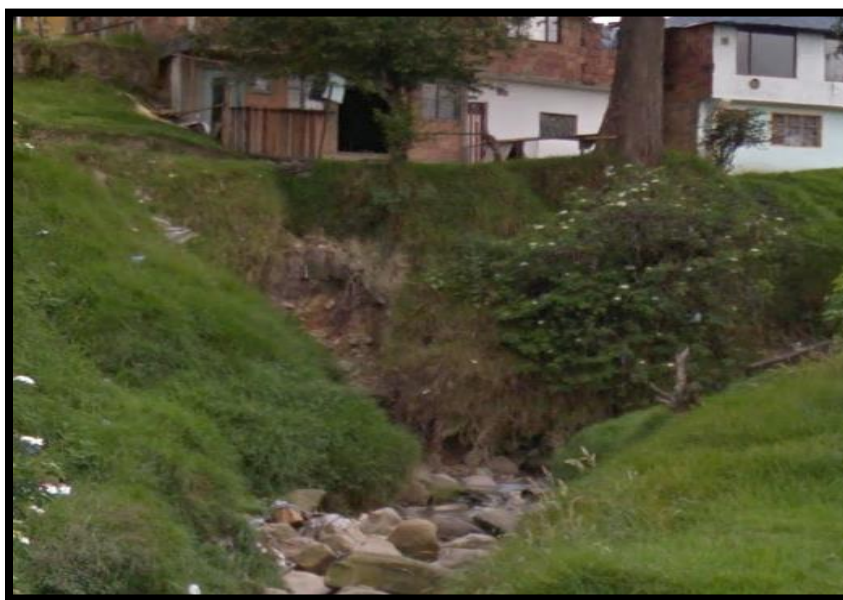
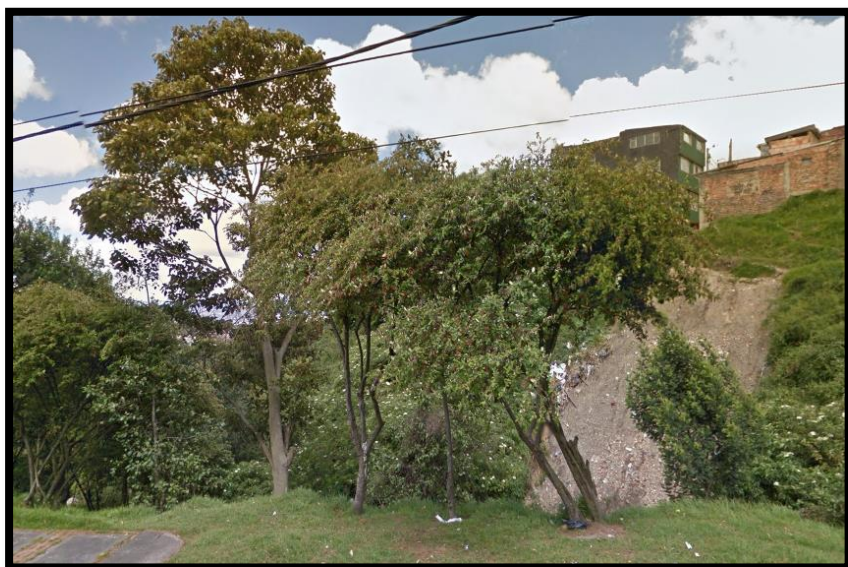


Figura 57: Evidencia de ubicación de viviendas construidas en zona de pendiente de la Quebrada

Fuente: Elaboración Propia

Al igual se encontraron viviendas construidas en la orilla de la quebrada y en este caso no presentan una pendiente muy alta, por contrario se encuentran a unos pocos metros de la rasante de la quebrada (Figura 58), siendo ese tipo de viviendas las primeras en presentar problemas de inundación cuando se presentan fuertes precipitaciones



Figura 58: Evidencia de ubicación de viviendas en zonas de alto riesgo.
Fuente: Elaboración Propia

La problemática ambiental, también va de la mano de la comunidad, debido a que se observó continuamente la mala disposición de los residuos sólidos como se observa en la Figura 59, en la cual se puede ver todo tipo de desechos sólidos.

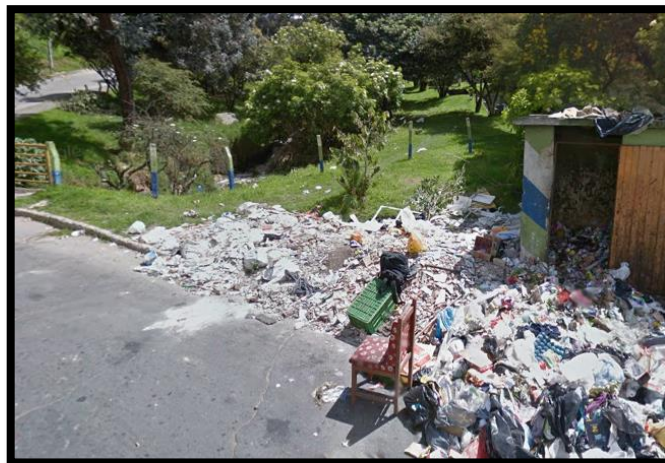


Figura 59: Evidencia de la mala ubicación de residuos cerca de las viviendas en zonas de alto riesgo.

Fuente: Elaboración Propia

En este recorrido, se realizó un análisis general de la zona, se puede evidenciar que presenta un área consolidada es decir el sector se encuentra urbanizado con viviendas de construcción en su mayoría por autoconstrucción, observando el uso de materiales poco convencionales, lo cual causa inestabilidad por las condiciones del terreno, así mismo por la ubicación de estas viviendas no presenta un sistema de alcantarillado correcto, lo cual genera que los flujos de aguas de estos habitantes, sean depositados al suelo directamente lo cual genera inestabilidad en el terreno y así por procesos de escorrentía estos flujos lleguen a la quebrada causando contaminación del agua.

En algunas zonas de la quebrada se presentan problemas de mantenimiento, falta de acondicionamiento de la zona verde, debido al crecimiento de todo tipo de vegetación, como se observa en la Figura 60, y por no presentar una delimitación con señalización adecuada, se confunde con un área verde transitable y ocasionar accidentes con habitantes que accedan a esta zona. Por lo que estas áreas necesitan una intervención urgente por parte de las entidades correspondientes.



Figura 60: Evidencia de las zonas con falta de mantenimiento

Fuente: Elaboración Propia

9. Conclusiones

- ❖ Mediante la elaboración y análisis del procedimiento metodológico para la determinación de franja inundable de la Quebrada Chiguaza, utilizando la aplicación HEC RAS. Se observó con el ejercicio práctico que la metodología de la aplicación puede servir como base técnica, pues es un software que permite ingresar diferentes características geomorfológicas y partir de una sencilla modelación de cauces a cargo de un equipo multidisciplinario, puede tomarse éste procedimiento como base para la planificación de los suelos adjuntos a los cauces, las cotas de inundación y delimitación de áreas de protección serán halladas distintivamente según las características físicas del entorno, como altura de la superficie y el caudal del cuerpo de agua, bajo condiciones reales y con el respectivo sustento técnico que permitirá a los entes territoriales actuar de una manera más precisa y avalada con la simulación realizada que en conjunto con diferentes herramientas SIG permitirá delimitar las áreas de conservación y protección de los recursos naturales, incluyendo las áreas de amenazas y riesgos, siendo este uno de los componentes determinantes para la elaboración de los planes de ordenamiento territorial, llevando a una mejor planificación y gestión del suelo siendo todo esto un soporte para el establecimiento de una reglamentación adecuada en el manejo de rondas hídricas y la determinación de las mismas de manera distintiva en los planes de ordenamiento territorial en Colombia.
- ❖ Por medio de los resultados obtenidos de la simulación con el aplicativo HEC RAS de la quebrada Chiguaza en cuanto a la longitud de la lámina de agua (47.5m) y realizando una comparación con los datos proporcionados por la normatividad actual (30m), se puede concluir que para el área de la franja de inundación de cualquier cuerpo de agua, es necesario realizar un análisis hídrico, debido a que no todos los cuerpos de agua presentan el mismo comportamiento, ni presentan las mismas características, así se tenga un catálogo de niveles, pero que en ocasiones pueden variar por sus condiciones físicas, naturales, el medio que los rodea, usos, entre otros. Así mismo por medio de los mismos resultados de la simulación de HECRAS, fue posible la elaboración de una cartográfica, en la cual se visualiza los predios del territorio del área de estudio se verían afectados parcial o totalmente, si se delimita la zona de retiro por amenaza de inundación con la longitud de la lámina de agua resultado de la simulación (47.5m), aclarando la idoneidad del procedimiento y la aplicación para la delimitación de áreas inundables. De tratarse de una medida confiable, esta información sería útil para la toma de decisiones de las entidades territoriales en la planeación del territorio y manejo de las cuencas en el país; pues con los insumos adecuados de información de elevaciones de la superficie, datos de alta precisión, los resultados obtenidos serán óptimos para el desarrollo del procedimiento.

- ❖ Se verifica la fiabilidad del uso de la aplicación, concluyendo que dicha fiabilidad, depende de los datos que sean ingresados para la modelación de cauces y simulación de inundaciones, el programa permite en su estructura diferenciar las características de distintos cuerpos de agua o ríos ya que en sus opciones se puede ingresar distintivamente las condiciones del entorno de un cauce, es decir si por ejemplo se habla de topografía pueden modificarse las condiciones de pendiente que directamente influye en la velocidad del flujo, la configuración interna del software permite la emisión de datos reales por medio de los cálculos que realiza el modelo produciendo esto un insumo de alta calidad que sirve como soporte técnico para la reglamentación de rondas hidráulicas o fajas de protección convirtiendo esta metodología utilizada para la determinación de superficies inundables en una herramienta que útil como por ejemplo para la recuperación de las áreas de protección de los cuerpos de agua, al igual puede servir como base para el estudio del reasentamiento de las viviendas aledañas a los cuerpos de agua de la ciudad de Bogotá.
- ❖ Se evaluó que aplicaciones tiene HEC RAS frente a ArcGIS cumpliendo el tercer objetivo específico planteado. En cuanto a las ventajas que ofrece la aplicación, evaluando las aplicaciones que tiene HEC RAS frente a ArcGIS, se evidencia que la herramienta HEC RAS es un paquete que usa un conjunto amplio de modelos involucrados en el pronóstico de las condiciones hidráulicas de una corriente (campos de velocidad, profundidad, etc.), bajo distintos tipos de condiciones del entorno de un cauce (variables que no maneja ArcGIS), es un software que simultáneamente incorpora datos geométricos e hidrológicos cuyos cálculos y programación especializada permite calcular el área de inundación de un cuerpo de agua sobre la superficie. Funciona conjuntamente con diferentes programas de visualización o gestión de datos geográficos como Ras Mapper, o con la herramienta ArcMap de ArcGIS por medio de la extensión HecGeoRAS que extrae de modo práctico los datos que alimentan la geometría de una cuenca para el modelaje a partir de un Modelo Digital de Elevación (MDE) y de información espacial complementaria tal como se evidencio en el proceso metodológico. Geo-RAS exporta posteriormente los resultados de HEC-RAS a un SIG, para su interpretación y manejo convenientes; se evidencia entonces que HecRas posee la especialidad para el manejo de la información hidráulica pero sigue siendo ArcGIS la herramienta ideal para interpretación de la información espacial convirtiéndose ambas en herramientas complementarias que con los insumos adecuados muestran resultados de alta precisión en el cálculo de franjas inundables, sirviendo como herramienta técnica de fácil utilización para realizar distintivamente una determinación acertada de rondas en los cuerpos de agua.

10. Recomendaciones

Teniendo en cuenta lo estipulado en el acuerdo 489 de 2012, en su artículo 3 como eje estratégico “Un territorio que enfrenta el cambio climático y se ordena alrededor del agua” y en su definición y alcance (Artículo 23), plantea que las “políticas de ordenamiento del territorio, gestión ambiental y gestión del riesgo estarán articuladas para enfrentar el cambio climático. Se dará prioridad a la atención de los conflictos sociales y ambientales de los asentamientos informales en zonas de riesgo, combinando reasentamiento y adecuación, para reducir su vulnerabilidad física, asegurar el equilibrio de cargas sobre los ecosistemas y proveer a la ciudad de corredores ecológicos para la conectividad del agua y las dinámicas ecosistémicas que reduzcan el consumo de suelo, agua, energía y materiales, y minimicen el impacto sobre el medio natural” (Concejo de Bogotá. D.C, 2012). Con base a esto y con el estudio hídrico adecuado como el obtenido en el presente documento, debe organizar planes estratégicos para la correcta adecuación de las rondas del cauce de la Quebrada Chiguaza y de todos los cuerpos de agua de la ciudad de Bogotá, para tener una adecuada delimitación y así mismo apoyar las políticas de mejoramiento de las condiciones de las fuentes hídricas, realizar un reasentamiento de las viviendas que no cumplan con las condiciones básicas de infraestructura y que se encuentren en la zona de retiro por amenaza de inundación. Al igual las viviendas ubicadas en las pendientes a la orilla de la quebrada, deben de ser de igual manera reubicadas, si bien es cierto estas no presentarían problemas de inundación por aumento del cauce, pero si pueden presentar problemas de deslizamientos. Para con esto contribuir con el mejoramiento del medio ambiente, las condiciones hídricas de los cuerpos de agua y mejorar las condiciones de vida de los habitantes de estas viviendas y así evitar posibles inundaciones que afecten significativamente a los habitantes.

Con base en la elaboración del mapa de los predios afectados por zona de retiro de quebrada por amenaza de inundación, el cual se elaboró teniendo en cuenta la información obtenida del análisis de la simulación de la franja de inundación con datos de la normatividad actual (30 metros), junto con la franja de inundación hallada por medio de la aplicación de HEC RAS (47.5 metros), lo cual deja como resultado que la determinación de la franja de inundación de cualquier cuerpo de agua, no puede catalogarse como una medida estándar, debido a que cada cuerpo de agua presenta condiciones diferentes, las cuales pueden aumentar o disminuir su área significativamente. Para que estos análisis se tengan en cuenta para el mejoramiento de la articulación de las normas relacionadas con la delimitación de las franjas de inundación, áreas de protección o zonas de manejo de protección ambiental.

11. Bibliografía

- ArcGIS Resource Ceter. (2012). *Biblioteca de ayuda de ArcGis*. Obtenido de Biblioteca de ayuda de ArcGis: <http://help.arcgis.com/es/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/0060000000001000000>
- Avendaño y Cadena, A. Z.-Y. (2014). *Uso de Sistemas de información geográfica en la determinación de amenazas por inundación en el municipio de Chía*. Bogota: Universidad Católica de Colombia.
- CAR, C. A. (2014). *Guía metodológica para la delimitación de zonas de ronda en la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR*. Bogotá, D.C.
- Chow, V. T. (1994). *Hidráulica de Canales Abiertos*. Santafé de Bogotá, Colombia.
- Colombia, P. d. (2002). *Decreto 1729*. Colombia.
- Concejo de Bogotá. D.C. (2012). *ACUERDO 489 DE 2012"POR EL CUAL SE ADOPTA EL PLAN DE DESARROLLO ECONÓMICO, SOCIAL, AMBIENTAL Y DE OBRAS PÚBLICAS PARA BOGOTÁ D.C. 2012-2016"*. Bogota, D.C.
- Díaz, A. M., & Renner, I. (2007). *Gestión Integral de Cuencas. La experiencia del Proyecto Regional Cuencas Andinas*.
- DPAE, D. D. (2003). *Cuidemos Nuestros Rios y Quebradas* . Bogota: Fundacion S-XXI.
- FOPAE, E. F. (1998). *Estudios y diseños de estabilidad de taludes, control de erosión y manejo de aguas para la estabilización de*. Bogotá.
- Forero, L. E. (2015). *Calibración de los modelos hidrológico e hidráulico para el sistema de alerta temprana para inundación por desbordamiento para la Quebrada Chiguaza*. Bogotá, D.C.
- Gálvez, J. J. (2011). *Cartilla Técnica: ¿Qué es Cuenca Hidrológica?* Lima - Perú.
- GOMEZ, C. Y. (2000). *QUEBRDA CHIGUAZA INFORME FINAL VOLUMEN II ANEXO No 7 PLAN DE MANEJO AMBIETAL*. Bogotá, D.C .
- Guzmán, L. M. (Diciembre de 2009). *Escuela de Ingeniería de Antioquia* . Obtenido de <http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/marcoarticulo.htm>

- IDEA, I. D. (2010). *Estimación de las áreas de protección ambiental en la zona urbana del Vergel - Municipio de Ibagué, Cuenca del Río Chípalo*. Manizales: CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL TOLIMA.
- IDEA, I. d., & Ambiental, G. d. (2010). *Estimación de las áreas de protección ambiental en la zona urbana del Vergel – Municipio de Ibagué, Cuenca del Río Chipalo*. Manizales.
- IDEAM – FOPAE, C. I. (2013). *Estudio de la caracterización climática de Bogotá y cuenca alta del Río Tunjuelo*. Bogotá, D.C.
- IDIGER, I. D. (2014). *Concepto Técnico para Reasentamiento Quebrada Chiguaza*. Bogotá: Alcaldía Mayor de Bogotá.
- INGEOCIM LTDA. (1998). *Zonificación de Riesgos por Inestabilidad del Terreno para diferentes Localidades en la ciudad de Santa Fe de Bogotá*. Bogotá.
- INGEOCIM, F. (1998). *Zonificación por Inestabilidad del Terreno para Diferentes Localidades en la Ciudad de Santafé de*. Bogotá.
- INGEOMINAS, I. C. (1996). *Estudio Geotécnico de la quebrada Chiguaza Fase II*. Bogotá.
- INGEOMINAS, I. C. (2005). *Geología de la Sabana de Bogotá*. Bogota.
- INGEOMINAS, I. C. (2005). *Geología de la Sabana de Bogotá*. Bogotá.
- MinAmb, M. d. (2012). *Plan ambiental local “San Cristóbal humana con el ambiente”*. Bogotá.
- MinAmbiente, M. d. (2014). *Guía Técnica para la Formulación de los Planes de Ordenamiento y Manejo de Cuencas Hidrográficas*. Colombia.
- Morelli Tucci , C. (2007). *Gestión de Inundaciones Urbanas*.
- TIEMPO, J. N. (24 de Febrero de 1999). LA CHIGUAZA: RIESGO INMINENTE. LA CHIGUAZA: RIESGO INMINENTE.
- Velez, J. I., Rave, C., Caballero, H., Montes, L., & Escobar, D. (2003). *Definición de retiros en cuencas urbanas del Valle de Aburrá*. Medellín: Univesidad Nacional de Colombia.