

**PRONOSTICO DE INUNDACIONES EN LA CUENCA BAJA DEL RIO
TUNJUELO POR MEDIO DEL USO DE TECNOLOGÍAS
GEOESPACIALES**

JUAN PABLO BARRETO TORRES.

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
BOGOTÁ, D. C
2017**

**PRONOSTICO DE INUNDACIONES EN LA CUENCA BAJA DEL RIO
TUNJUELO POR MEDIO DEL USO DE TECNOLOGÍAS
GEOESPACIALES**

JUAN PABLO BARRETO TORRES.

**TESIS DE GRADO PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO
AMBIENTAL**

ING. MSC. CARLOS ANDRÉS PEÑA GUZMÁN (DIRECTOR)

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
BOGOTÁ, D. C
2017**

Nota de aceptación:

_____ Firma del director

_____ Firma del jurado

_____ Firma del jurado

Bogotá D.C. Abril de 2017.

Contenido

RESUMEN	9
INTRODUCCIÓN.....	10
1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	11
2. JUSTIFICACIÓN.....	13
3. OBJETIVOS.....	15
3.1. Objetivo General	15
3.2. Objetivos Específicos	15
4. MARCO CONTEXTUAL	16
4.1. Localización de las zonas de posible afectación.	16
4.2. Cuenca baja del rio Tunjuelo.	17
4.2.1. Características geomorfológicas de la cuenca Baja del Río Tunjuelo.	17
4.2.1.1. Ambiente fluvial.....	18
4.2.2. Pendientes predominantes.....	18
4.2.3. Subcuencas que componen la cuenca baja del rio Tunjuelo.	19
4.2.4. Condiciones locales y distribución poblacional.	20
4.3. Características biofísicas.....	21
4.4. Cuenca Hidrográfica Rio Tunjuelo.....	21
4.4.1. Delimitación de la cuenca.....	21
4.4.2. Características climatológicas de la cuenca.....	22
4.4.2.1. Temperatura	22
5. MARCO TEÓRICO.....	24
5.1. Clasificación de los ríos.	24
5.2. Desastres naturales.....	26
5.3. Inundaciones.	27
5.3.1. Tipos de inundaciones.....	28
5.4. Hidráulica.	28
5.5. Modelación hidráulica.....	28
5.5.1. Aplicación y aporte de los modelos hidráulicos.	29
5.5.2. Clasificación general de los modelos hidráulicos	30
5.6. Software utilizado para la determinación de caudales máximos	31
5.7. Software utilizado para determinar zonas inundables.....	31
5.8. Software utilizado para representar el comportamiento de las aguas.....	32

5.9. Distribución utilizada por Hidroesta para la determinación de caudales máximos.....	32
5.10. Estaciones limnográficas.....	33
6. MARCO CONCEPTUAL.....	34
7. METODOLOGÍA.....	37
7.1. Toma de puntos que rodean la cuenca baja del río Tunjuelo.	37
7.2. Determinación de caudales para los diferentes periodos de retorno.....	37
7.2.1. Software utilizado para determinar zonas inundables.	39
7.2.1.1. Forma de la cuenca baja del río Tunjuelo y ubicación de los puntos.....	39
7.3. Representación del comportamiento de las aguas.	42
8. RESULTADOS	43
8.1. Población afectada por localidades.....	44
8.2. Barrios afectados en caso de inundaciones.	45
8.1. Zonas afectadas en un periodo de retorno de 10 años.....	47
8.2. Zonas afectadas en un periodo de retorno de 20 años.....	49
8.3. Zonas afectadas para un periodo de retorno de 50 años.	51
8.4. Cambio en la dispersión del agua desbordada en los tres periodos de retorno.	52
8.4.1. Comparación del área de inundación a TR 10, 20 y 50 años en la parte norte de la cuenca baja del Río Tunjuelo.....	52
8.4.2. Comparación del área de inundación a TR de 10, 20 y 50 años en la parte intermedia de la cuenca baja del Río Tunjuelo.	54
8.4.3. Cambio en la dispersión de las aguas en la parte sur de la cuenca baja del Río Tunjuelo.	55
8.5. Pendientes predominantes en las zonas aledañas a la cuenca baja del Río Tunjuelo. 59	
9. CONCLUSIONES.	61
10. RECOMENDACIONES.	64
11. BIBLIOGRAFÍA.	65

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Zonas propensas a inundación por UPZ	19
Tabla 2. Subcuencas del Rio Tunjuelo	20
Tabla 3. Fuentes de contaminación hídrica, localidad Tunjuelito. ¡Error! Marcador no definido.	
Tabla 4. Temperatura media cuenca baja rio Tunjuelo. ... ¡Error! Marcador no definido.	
Tabla 5. Listado de modelos ejecutados con el programa HEC RAS	30

LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Esquema determinación de caudales.....	38
Figura 2. Geometría del Río Tunjuelo	39
Figura 3. Perfil de inundación	40
Figura 4. Caudal para TR de 10, 20 y 50 años	41
Figura 5. Área de inundación en un TR de 10 años.....	53
Figura 6. Área de inundación en un TR de 20 años.....	54
Figura 7. Área de inundación en un TR de 50 años.....	55
Figura 8. Comportamiento de las aguas en los cuatro periodos de retorno.....	58

LISTA DE MAPAS

Pág.

Mapa 1. Localización de la localidad de Tunjuelito en la ciudad de Bogotá.	16
Mapa 2. Población afectada por localidad.	44
Mapa 3. Afectación a barrios aledaños a la cuenca del Rio Tunjuelo por posibles inundaciones.	46
Mapa 4. Zonas de inundación para un periodo de retorno de 10 años.....	47
Mapa 5. Zonas de inundación para un periodo de retorno de 20 años.....	50
Mapa 6. Zonas de inundación para un periodo de retorno de 50 años.....	51
Mapa 7. Pendientes predominantes en la Cuenca baja del Rio Tunjuelo.....	59

RESUMEN

La necesidad de desarrollar medidas de mitigación y sistemas de alerta temprana para inundaciones han impulsado al desarrollo de tecnologías, modelos y herramientas que pronostiquen las inundaciones a ocurrir en áreas determinadas y de mayor vulnerabilidad como lo es la cuenca baja del Rio Tunjuelo.

De acuerdo a lo mencionado en el párrafo anterior nace la idea de desarrollar este proyecto, el cual tiene como principal fin, poder determinar zonas con un grado afectación considerable por inundaciones causadas debido al desbordamiento de aguas que componen dicha parte del rio Tunjuelo, cuerpo hídrico que hace parte o en algunos casos colinda con barrios como Nuevo Muzú, Muzú, Madelena, Isla del sol, entre otros., esta determinación de lugares será soportada en los resultados (Gráficos, perfiles, altura de la lámina de agua, velocidad de recorrido) obtenidos bajo la perspectiva de tecnologías geoespaciales que tengan funciones relacionadas con la representación de una acción natural en un medio digital.

Luego de tener la representación formal del comportamiento de las aguas, proporcionada por la puesta en marcha del modelo, será posible determinar y pronosticar como sería el comportamiento y que probabilidades de problemas de inundación se podrían presentar en los lugares aledaños, esto con el fin de realizar una advertencia con la que se pueda empezar a llevar a cabo actividades como limpieza y recolección de residuos arrojados en el afluente y mantenimiento del acueducto fluvial, las cuales sean obras que mitiguen el posible riesgo y en caso de que no existan dichos problemas, poder tener fundamento para emprender obras con fines ambientales, como pueden ser programas de capacitación ambiental, replantación de especies arbóreas afectadas por un universo de factores no solamente antrópicos, sino que también naturales, como grandes oleadas de viento, intensidades peligrosas de lluvia y movimientos de tierra.

La manera en la cual se presentaran los resultados será por medio de gráficos producidos por el trabajo realizado en los sistemas relacionados, para esto serán de vital necesidad datos en cuanto a altura de la lámina de agua, caudales máximos de cuatro estaciones que tiene a cercanías el IDEAM conocidas con el nombre de Ciudad Bolívar, Sena K 30, Villa Pérez Automática y una que esta directamente en la sobre el cauce como lo es Puente Bosa, se usaran datos de las estaciones con el único deseo de desarrollar un modelo el cual pueda simular lo más preciso posible los diferentes comportamientos, para de este modo poder tener ideas claras para fijar recomendaciones de mitigación o de aprovechamiento de predios sin afectación.

INTRODUCCIÓN

Las inundaciones son fenómenos naturales y también antrópicos los cuales dejan como único resultado daños a bienes, vías, estructuras, entre otros., pero que junto a los desmanes producidos por estos, también dan idea de cómo está un lugar ya sea barrio, localidad o en suma un país en cuanto a condiciones que sean capaces de dar las herramientas necesarias para responder de optima manera a una tragedia de cualquier tipo, acción que debe dar como resultado la posibilidad de que se vean afectadas unas partes del territorio mas no su totalidad, y con eso no exista la posibilidad de que se presenten desalojos de personas que están aportando a un país con el ánimo de que se tenga preparada su área circundante para sobrellevar amenazas inesperadas, pero ya conocidas.

Es por eso que esta tesis lo que propone es un acercamiento a los principales problemas de inundación que pueden llegar a presentarse en la cuenca baja del rio Tunjuelo, desde el trabajo conjunto de tres programas los cuales en el momento que se requiera pueden el uno trabajar para el otro de muy buena manera, como se irá viendo a medida que se vaya desarrollando el cuerpo del presente documento. Los tres programas utilizados fueron Hidroesta, Hec-Ras y ArcGis; en donde cada uno cumplió una labor dispendiosa para que el trabajo del otro pudiera ser elaborado de la mejor manera, entregando información de vital importancia, como lo son cada una de las variables halladas a medida que el proceso de formación del modelo se iba desarrollando.

A medida que se vaya avanzando en el entendimiento del presente documento se demostrara como se halló cada variable y como la una de algún modo iba de la mano de la otra, ya que a pesar que Hec-Ras e Hidroesta son programas que se utilizan en su gran mayoría para cálculos hidráulicos en este caso fueron utilizados como sistemas de información geográfica acerca de la forma de algunos lugares que rodea la cuenca, el caudal que podría pasar por los mismos, para que en el momento de finalizar su labor los resultados de esta pudieran ser entregados a un software especializado en SIG como lo es ArcGis para una posterior visualización de resultados.

1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Las inundaciones en la ciudad de Bogotá cada vez son más frecuentes debido a múltiples factores, uno de ellos puede ser el no respetar la distancia mínima para la construcción infraestructural de edificaciones para fines de vivienda, comercio, estudio, etc., así como la construcción de vías las cuales lo único que logran es hacer incrementar la posibilidad de que se puedan generar inundaciones y con esto la pérdida de estabilidad humana y ambiental de todo tipo, el caso en cuestión es la cuenca media del Río Tunjuelo la cual tiene este problema muy seguido en diferentes partes de todo el largo de su cauce, este tipo de fenómeno se ha registrado al paso del tiempo principalmente en el tiempo comprendido entre los meses Marzo y Noviembre, presentado su mayor incidencia en la temporada lluviosa que recae en la zona central del país, por ello es que en los meses de Mayo y Junio se tiene una posibilidad de ocurrencia del 22 y 32% respectivamente [1].

Gran parte de los factores que pueden propiciar el ambiente necesario para la producción de inundaciones en este cuerpo hídrico están muy cerca, ya que el hecho de que la Gravilla que es el material necesario para proveer la fabricación de concreto reforzado este ubicado a escasa distancia de cauce actual, dan punto de referencia para comprensión de su dinámica fluvial y de la explotación que sobre este se lleva, lo cual se da gracias a su historia geológica, puesto que, en todo el terreno de la ciudad esta es la única parte donde se consigue este material, además de esto es el único río que nace a más de 3.500 m.s.n.m. (metros sobre el nivel del mar), lo que da como resultado que este y sus afluentes con el paso de los años estén sujetos a la influencia de tipo directo o alternado de deglaciaciones (acumulación de hielo por bajas intensas de temperatura) y glaciaciones (derretimiento del hielo acumulado por incremento de la temperatura).

Otro de los grandes problemas que también se presentan en esta parte de la cuenca, es que las empresas que explotan la gravilla se encuentran en la parte alta de cono de depositación, lo cual ayuda para que cuando el agua cae sobre estas áreas por escorrentía estos sedimentos producidos por la explotación se sedimenten y alcen el cauce de los ríos[2] [3] [4].

Los problemas anteriormente nombrados tienen raíz en mayor proporción en la cuenca media del río, todo esto debido a la primera obra hidráulica que tuvo lugar en el año 1920, acción que lo único que produjo fue un cambio en el ciclo hidrológico, el cual se manifestó produciendo factores negativos como pérdida de humedales y amplias posibilidades para la construcción en partes las cuales no eran, ni son fértiles para resistir un cambio de suelo tan brusco, fue por esto que se presentó un incremento en el riesgo de desprendimiento de tierra y en épocas en

las que el río alcanza su máximo nivel de envergadura, por simple proceso natural reclama estas partes las cuales él tiene destinadas para amortiguar dicho fenómeno, pero estas al estar utilizadas para otros fines, este no tiene otra opción que manifestar su poderío y dar vida a acciones como “La Tragedia del Tunjuelo del año 2002”, la cual fue capaz de afectar a 3.200 personas y anegar a 1.200 viviendas [5] [6].

Además del alza del cauce producido por las lluvias que caen sobre el afluente, se le suman los sedimentos producidos por las más de diez gravilleras presentes en sus alrededores, lo cual puede dar como resultado un cambio de pendiente o de la elevación del fondo por erosión o sedimentación gradual a lo largo de un tramo, fue por esto que en el pasado mes de Noviembre seis empresas gravilleras fueron selladas por contaminar, cargo que se dio porque ellos además de usar 2,8 metros cúbicos de agua, por cada metro cúbico de piedra que es triturada reintegraban al cuerpo hídrico el agua contaminada junto con la totalidad de los sedimentos producidos en su actividad [7].

2. JUSTIFICACIÓN

En los últimos años se han creado instrumentos normativos regulatorios orientados a la prevención y mitigación de desastres naturales, ocasionados principalmente por amenaza de inundaciones, que han dejado a su paso como consecuencia pérdidas económicas, vidas humanas y daños a la infraestructura que ronda a los cuerpos hídricos; lo cual se debe a que Colombia gracias a su localización en una zona de alta complejidad geológica y debido a sus condiciones topográficas, climáticas e hidrológicas hacen que este sea propenso a impactos de fenómenos y amenazas hidrometeorológicos como lo son avalanchas, inundaciones y desbordamientos. Como lo reporta la Corporación Andina de Fomento (CAF), los daños en Colombia causados por el fenómeno de la Niña entre 2010 y 2011 dejaron pérdidas económicas y víctimas mortales que evidenciaron las deficiencias de la gestión del riesgo y fortalecer los sistemas de alerta temprana (SAT) en el territorio nacional. Adicional a ello uno de los factores que aumenta la vulnerabilidad a estas amenazas es la expansión e inadecuada ubicación de zonas urbanas en zonas de poco amortiguamiento, las cuales no son aptas para asentamientos humanos.

Entre los principales instrumentos normativos se encuentra la Política Nacional de Gestión del Riesgo (Ley 1523 del año 2012), la cual se encuentra orientada a la formulación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas, estrategias, planes, programas, regulaciones, instrumentos, medidas y acciones permanentes para el conocimiento y la reducción del riesgo y para el manejo de desastres, con el propósito explícito de contribuir a la seguridad, el bienestar, la calidad de vida de las personas y al desarrollo sostenible. Dicha gestión del riesgo ha evolucionado constantemente desde la creación del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SNGR) en 1989, la cual actualmente es la Unidad Nacional de Gestión del Riesgo, es importante destacar que la política que trata estos temas en el país se ajusta a los lineamientos de la oficina de las naciones unidas para la reducción del riesgo de desastres (UNISDR) [8] [9].

Para la disminución, mitigación y prevención de las consecuencias negativas de las inundaciones, las cuales representan las amenazas meteorológicas e hidrológicas de mayor importancia debido a la magnitud de los daños que causa, en las últimas décadas ha crecido el interés por los sistemas de alerta temprana (SAT) para enfrentarlas, ejemplo de estas son: el Servicio Colombiano de Hidrología y Meteorología (SCMH), entidad que suministra información de datos cuantitativos y brinda apoyo a los organismos de socorro en la temporada invernal, actualmente se encuentra el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) el cual presenta un informe técnico diario de alertas ambientales de origen hidrometeorológico. A nivel distrital se encuentra el Sistema de Alerta Temprana del

Distrito Capital de Bogotá, este se encuentra conformado por la red de acelerógrafos de Bogotá (RAB), la red hidrometeorológica de Bogotá (RHB), estos realizan el monitoreo de las variables hidrometeorológicas y los niveles de los ríos ubicados en el perímetro urbano [8].

A nivel internacional y nacional se han utilizado Software como HEC-HMS, PRMS y SWAT para la modelación hidrológica y determinación de la dinámica de los cauces, actividad que es necesaria para establecer un sistema de predicción de inundaciones y SAT para las mismas, junto con esto es importante contar con un sistema para la detección de precipitaciones, indicadores de predicción numérica y métodos para la predicción de inundaciones las cuales pueden emitir alertas con anterioridad de 1 a 24 horas [10] [8].

Es por ello que el desarrollo de este trabajo contribuirá no solo al cumplimiento de lo establecido en la legislación nacional, sino también funcionara como instrumento de apoyo a entidades encargadas de planeación urbana, rural, ordenamiento del territorio, gestión del riesgo, entre otros, actividad que tendrá como principal resultado una amplia gama de información en cuanto a zonas en las cuales existe una mayor probabilidad de inundación y los efectos negativos que tendrá sobre sus alrededores, información que tendrá fundamento en las diferentes predicciones de diferentes caudales que se pueden presentar en periodos de retornos conocidos y que servirán para la toma de decisiones las cuales estén enfundadas en mitigar y desaparecer la posible afectación.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo General

Realizar el pronóstico de inundaciones para la cuenca baja del Río Tunjuelo por medio del uso de tecnologías geoespaciales.

3.2. Objetivos Específicos

- Determinar el caudal presente para un periodo de retorno de 10, 20, 50 y 100 años.
- Identificar y calcular variables hidráulicas, altura de la lámina de agua y velocidad de recorrido de las aguas con posibilidades de desbordamiento.
- Calibración del modelo hidráulico.
- Identificación de las zonas con mayor probabilidad de inundación y sus posibles efectos sobre las zonas urbanas aledañas.
- Realizar mapas de afectación a predios circundantes para evidenciar el alcance de las aguas en un periodo de retorno de 10, 20, 50 y 100 años.

4. MARCO CONTEXTUAL

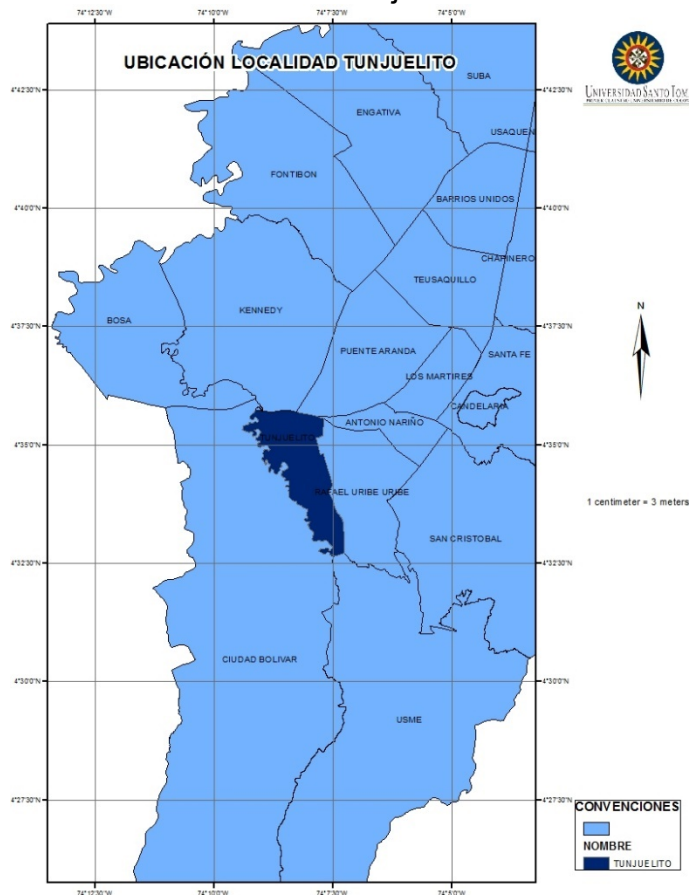
4.1. Localización de las zonas de posible afectación.

Las localidades que tendrán una afectación directa son Tunjuelito, Puente Aranda, Ciudad Bolívar, Kennedy y Bosa. La cuenca baja del río Tunjuelo recorre estas localidades, las cuales colindan con otras de gran importancia.

La localidad Tunjuelito se encuentra ubicada al sur oriente de la ciudad Bogotá, tiene una extensión total de 987 ha, de las cuales 281 se clasifican en suelo protegido. Por otra parte, la localidad de Tunjuelito no presenta suelo rural [11].

Limita al norte con las localidades de Puente Aranda y Kennedy, al occidente con la localidad de Ciudad Bolívar, al sur con la localidad de Usme y al oriente con la localidad de Rafael Uribe [11].

Mapa 1. Localización de la localidad de Tunjuelito en la ciudad de Bogotá.



Fuente: Autor.

4.2. Cuenca baja del rio Tunjuelo.

Esta parte del rio Tunjuelo abarca un área de 390 Km², los cuales esta comprendidos desde el Embalse seco de Cantarrana hasta el lugar donde desemboca el rio, es decir, el rio Bogotá, en todo el recorrido del cauce predomina una pendiente de 0.16%, pero en algunas partes esta se ve superada hasta el punto de alcanzar pendientes de hasta el 3%, el piso bioclimático frio que excede el 87,9%, el cual se refiere a la distribución que presentan las lluvias y las temperaturas a lo largo del año. Esta parte de la cuenca se ve alimentada en su gran mayoría por tributarios mayores del drenaje de la escorrentía superficial las quebradas de Chiguaza y Santa Librada por la margen derecha, y por la parte izquierda contribuyen las aguas provenientes de las quebradas Lima y Trompeta. Ya en el caso de quebradas como El Mochuelo, La Estrella y La Fiscalía poseen poca extensión de drenaje lo cual ha dado como resultado que partes de su cauce se encuentren drenados y entubados, las cuales han sido actividades realizadas para la ocupación de sus riberas para una posterior construcción de tipo urbanístico [12].

4.2.1. Características geomorfológicas de la cuenca Baja del Río Tunjuelo.

Las características geomorfológicas presentes en la cuenca baja del rio Tunjuelo se pueden agrupar en cinco ambientes morfológicos, los cuales son Glacial, Fluvial, Estructural, Denudativo y Antrópico [12].

El Ambiente Glacial incluye la morfología glacial típica desde circos glaciales y morrenas, hasta las laderas estructurales glaciadas. Por lo general, las unidades glaciales sólo se encuentran en áreas periféricas del área urbana de la cuenca del Tunjuelo, específicamente hacia el sector de Juan Rey y el páramo de Cruz Verde [12].

El ambiente fluvial corresponde a una de las morfologías más extensas que hacen presencia en la cuenca del Rio Tunjuelo, en donde también es posible incluir varias unidades de terrazas aluviales y vegas relacionadas con el rio. En este paisaje de origen fluvial se pueden encontrar dos niveles de terraza, las cuales son la terraza baja de Tunjuelito y la media de San Carlos, las cuales son la plena evidencia de la disección de la sabana por el rio en cuestión [12].

Lo que corresponde al ambiente estructural no es nada menos que las rocas deformadas que caracterizan la sabana de Bogotá y lo que compone al valle del rio Tunjuelo, más que todo en la parte urbana alta, esta incluye laderas estructurales y disectadas por la erosión durante el tiempo geológico, junto con mesetas estructurales y residuales [12].

En el ambiente denudativo es donde se presentan fenómenos de coluviación y remoción en masa, Este ambiente incluye unidades asociadas con conos coluviales y residuales, además de unidades denominadas deslizamientos activos y fósiles [12].

Lo que respecta a la geomorfología antrópica no es más que actividades como la intervención minera de la zona, los rellenos de basura y los escombros. Estas unidades predominan a lo largo del cauce del río Tunjuelo en su cuenca media y a media ladera para las explotaciones de piedra y arcilla, mientras los rellenos aparecen en una variedad de lugares [12].

4.2.1.1. Ambiente fluvial.

La cubeta de inundación es lo que corresponde a la llanura aluvio-lacustre encharcable, en la cuenca baja del río Tunjuelo, está en épocas antiguas se veía influenciada por las inundaciones provenientes del río Bogotá y Tunjuelo. Esta se caracteriza por tener una estructura plano-cóncava que facilita la decantación de los sedimentos finos en suspensión durante los desbordes. Hoy en día esta parte está bien respaldada por los jarillones, pero también está siendo seriamente afectada por los procesos de rellenos ilegales y urbanizaciones. Gracias a estas características estas partes están en alto riesgo de encharcamiento e inundación en el momento en el que estas barreras fallan.

4.2.2. Pendientes predominantes.

La cuenca del río Tunjuelo está comprendida por tres sectores en donde las pendientes varían con gran determinación, el primero de ellos está comprendido entre el nacimiento del río y el Embalse de La Regadera. Presenta una pendiente muy pronunciada propia de los ríos de montaña que oscila entre el 15 % y el 3 %. El drenaje de este sector es rápido en razón de las altas pendientes y los alineamientos relativamente rectos [12].

El segundo sector está comprendido entre el embalse de La Regadera y el sitio denominado Cantarrana, la pendiente promedio en este sector es del orden de 3 %, que aunque sea menor que la anterior, es aún suficiente para garantizar un buen drenaje. El tercer sector, o sector inferior del río, es el comprendido entre el sitio de Cantarrana y el Río Bogotá. Este sector a su vez está constituido por dos zonas: una alta (sector Cantarrana - La Fiscala) donde el río aun presenta pendientes superiores al 1 % y capacidad adecuada para evacuar grandes crecientes, y una zona baja con pendientes del orden de 0,05 % y por consiguiente con un drenaje deficiente [12].

Amenaza por inundación

La inundación es un evento natural y recurrente que se produce en las corrientes de agua como resultado de lluvias intensas y continuas que, al sobrepasar la capacidad de retención del suelo y de los cauces, desbordan e inundan aquellos terrenos aledaños a los cursos de agua. Las inundaciones se pueden clasificar de acuerdo con las características del caudal de la fuente de agua, así: lenta o de tipo aluvial, súbita o de tipo torrencial y encharcamiento [11].

En la tabla 5 se totaliza el área en amenaza alta, media y baja de inundación; la UPZ Tunjuelito figura con la mayor superficie y el mayor número de manzanas en amenaza alta, media y baja, con un 54,4% del total de su superficie bajo algún grado de amenaza de este tipo. Las zonas propensas a inundación se localizan en el sector occidental de las UPZ Venecia y Tunjuelito, a ambos lados del río Tunjuelito (Plano 4) [11] [12] [13].

Tabla 1. Zonas propensas a inundación por UPZ.

UPZ	Zona de Amenaza Alta		Zona de Amenaza Media		Zona de Amenaza Baja	
	Área (ha)	Manzanas	Área (ha)	Manzanas	área (ha)	Manzanas
Venecia	1,5	0	0,5	0	43,4	6
Tunjuelito	60	39	90,9	2	58,8	42
Total	61,5	39	91,4	2	102,2	48

Fuente: [11].

Según lo señala la Alcaldía Local, las áreas cercanas al río Tunjuelito son altamente susceptibles a las inundaciones, por las características del terreno y el comportamiento natural del río, que hacen que estas zonas actúen como amortiguadores en las épocas de lluvia. Las zonas amenazadas por inundaciones en la localidad son principalmente los barrios San Benito, Tunjuelito, Abraham Lincon, Isla del Sol y en menor proporción los barrios Tejar de Notario, Villa Ximena y Nuevo Muzú [11] [14].

4.2.3. Subcuencas que componen la cuenca baja del río Tunjuelo.

La cuenca baja del río Tunjuelo, esta conformada por 10 subcuencas las cuales corresponden a quebradas principales y varias subcuencas de drenaje local que

son tributarias del río, pero no tiene un cauce definido.

Las principales quebradas aguas abajo son las siguientes por la margen derecha: Santa Librada, Hoya del Ramo-La Fiscalía, Chiguaza y Canal San Carlos; en cambio por la margen izquierda se tienen las quebradas Yerbabuena, Botello, Trompeta, Zanjón de la Estrella y Limas. En el siguiente cuadro es posible conocer mayor información acerca de estas subcuencas.

Tabla 2. Subcuencas del Río Tunjuelo

Nombre	Área total de la subcuenca	Área en la zona urbana
Q. Botello	907	168
Q. Limas	1748	626
Q. Chiguaza	1.878	1465
Q. Trompeta	531	150
Q. Zanjón de la Estrella	301	291
Canal San Carlos	290	290
Q. Yerbabuena	129	120
Q. Santa Librada	546	477
Q. Hoya del Ramo- La fiscalia	303	303
Q. Yomasa	303	387

Fuente: .

De acuerdo con lo que se puede apreciar en el cuadro anterior, las quebradas Yerbabuena y Hoya del Ramo- Fiscala, y el canal San Carlos, tienen la totalidad de su área de drenaje dentro de la zona urbana, es decir, que en el momento que se presente una inundación las aguas desbordadas afectaran de manera directa a todas las urbanizaciones que se encuentren en estas partes.

4.2.4. Condiciones locales y distribución poblacional.

Zona de la isla del sol. Esta es un área de alta densidad poblacional, en la cual su principal uso es de tipo residencial, esto se puede asociar a que en un principio fue un barrio de tipo informal en el cual mucha gente aprovecho para asentarse, y ya después recibió el carácter de barrio legal. El área está expuesta a posibles inundaciones gracias a que las viviendas están construidas por debajo del nivel del río.

Zona de Timiza. está conformada por vivienda formal, en su mayoría conjuntos de apartamentos de área reducida y con cinco niveles, por lo cual hay una gran concentración de habitantes en esta zona.

4.3. Características biofísicas.

Tunjuelito cuenta a su vez con la quebrada Chiguaza que nace en los cerros orientales de la Sabana de Bogotá y recorre una extensión de 10,3 kilómetros, tres de los cuales pasan por la localidad en los barrios Abraham Lincoln y Tunjuelito. Las quebradas Las Mercedes, La Morales y Puente Colorado desembocan en la Chiguaza y son su principal fuente de contaminación. La Chiguaza recibe aguas negras y lluvias, basuras, desagües y residuos de arenas lavadas y químicos de curtiembres provenientes de las localidades de San Cristóbal, Rafael Uribe Uribe y Tunjuelito, que finalmente desembocan en el río Tunjuelito. Esto hace que la Chiguaza en la actualidad sea reconocida como una de las quebradas más contaminadas de la zona [11].

4.4. Cuenca Hidrográfica Rio Tunjuelo

4.4.1. Delimitación de la cuenca

La cuenca del río Tunjuelo está dividida en tres partes: Alta, media y baja, en la cuenca alta encontramos desde el páramo del Sumapaz hasta el embalse de la regadera, esta parte se encuentra amenazada por la invasión del páramo y el cultivo sin medida de papa que son levantados por medio de químicos que afectan directamente el agua pura que se consume en la ciudad. La cuenca media está delimitada desde el embalse de la regadera hasta la zona de extracción de material agregados finos para la construcción, un impacto ambiental muy alto en esta parte de la cuenca ya que se ha generado un desequilibrio del medio natural ya que se extrae sin ninguna reglamentación ni control, creando derrumbes que afectan la población aledaña [15].

La cuenca del río Tunjuelo se ubica al sur del Distrito Capital y forma parte del sistema hidrográfico del río Bogotá. Nace en la laguna de Los Tunjos, originando el río Chisacá, a una elevación de 3780 msnm y desemboca en el río Bogotá en el sector sur-occidental de Bogotá a los 2510 msnm, para una longitud total de 66 kilómetros [15].

La cuenca baja esta delimitada por las canteras y el río Bogotá, en estas partes es posible evidenciar la afectación directa que tiene el cuerpo hídrico proveniente

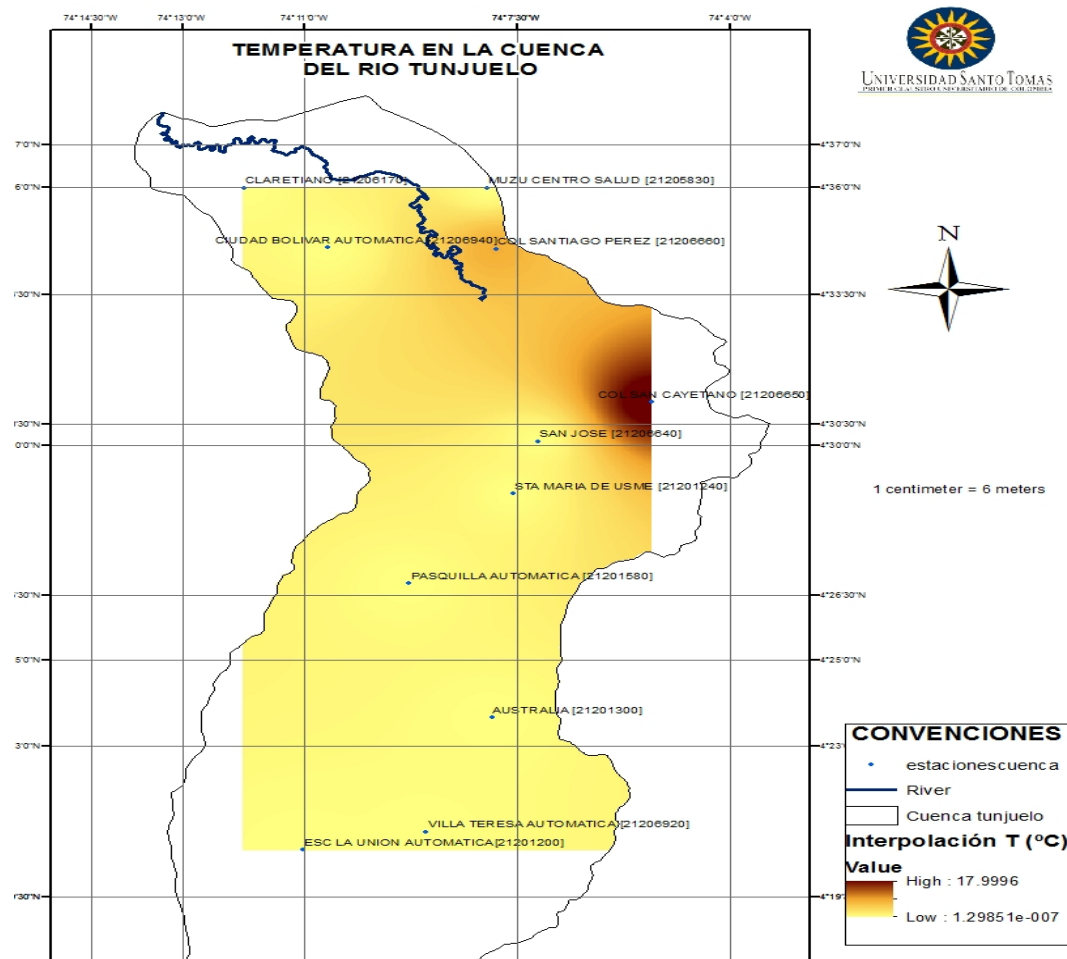
principalmente por las curtiembres de San Benito y los sedimentos producidos por esta actividad de tan altísima amenaza. Junto con estos también se encuentran los cementerios de Colmotores [15].

4.4.2. Características climatológicas de la cuenca

4.4.2.1. Temperatura

La temperatura media presenta valores con poca variación 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. En elevaciones localizadas en los cerros orientales o hacia la cuenca alta del río Tunjuelo se observan temperaturas que alcanzan 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, indicando que la temperatura media, no presenta grandes variaciones a través del año y por tanto, se considera constante. La temperatura media en general presenta tendencias de carácter creciente y tiende a ser de mayor magnitud por el efecto de la urbanización, la industria y otras actividades del hombre [16].

Mapa 1. Interpolación de las temperaturas predominantes en la cuenca Tunjuelo



Fuente: [16].

Con base en la información proporcionada por las estaciones nombradas en la anterior ilustración fue posible evidenciar la manera como se comportan las temperaturas. Con base en los resultados se estableció que las mayores temperaturas se presentan en la parte occidental de la cuenca. Mientras que en la parte sur y norte que es la de mayor importancia por lo que es ahí donde se encuentra ubicada la parte de la cuenca de interés, las temperaturas no sobrepasan los 7°C.

5. MARCO TEÓRICO

Los ríos son sistemas con un alto grado de complejidad, lo cual los caracteriza por interactuar en ellos un sin número de procesos en los que la cantidad de componentes es única, sobre todo cuando queremos hablar de ellos en cuanto a su parte horizontal y su distinta composición. Para clasificar y conocer las diferencias entre ríos lo primero que deberemos evaluar es el clima y la geología que a este rodean; en cambio para conocer parámetros descriptivos debemos hacer énfasis en la densidad y tipo de vegetación, meteorización y desarrollo de los suelos, pendiente de la cuenca y por último el caudal circundante; y ya en el caso que se quiera conocer características del sistema fluvial como el régimen de caudales, diferencias en la química del agua y sus comunidades biológicas, lo que se debe hacer es un estudio en cuanto a características litológicas y del clima [3].

5.1. Clasificación de los ríos.

Los ríos se clasifican desde diferentes puntos de vista, esto con el ánimo de facilitar el estudio de su morfología, a continuación, se describe una de las clasificaciones:

- Según su edad: esta manera discrimina a los ríos como jóvenes, maduros o viejos; los ríos jóvenes son aquellos que se encuentran en los cauces de montaña, tienen pendientes altas y sección transversal tipo V, son muy irregulares y se encuentran en constante degradación, estos ríos se presentan generalmente en valles amplios donde la erosión de las orillas ha sido la responsable de reemplazar la del fondo. Los ríos maduros son estables, y la sección transversal en cada tramo es capaz de transportar la carga de sedimentos en todo su recorrido. Los ríos viejos se encuentran en valles amplios y planicies donde su ancho es 15 o 20 veces más grande que el de los meandros, y sus pendientes son generalmente pequeñas, donde se depositan sedimentos naturales a lo largo de las márgenes; una de sus principales características es que en sus alrededores se forman amplias planicies y pantanos [17].
- Por condición de estabilidad: en esta clasificación se tienen tres categorías de estabilidad: estática, dinámica y morfológica. En el paso siguiente se encontrarán sus diferentes explicaciones [17]:
 - A. Estática: Es cuando la corriente es capaz de arrastrar sedimentos, pero esta no es capaz de arrastrar las partículas o elementos de las orillas [17].

- B. Dinámica: Esta se da cuando las variaciones de la corriente, los materiales de las orillas y la plantilla, y la cantidad de los sedimentos transportados han formado una pendiente y una sección que no cambian especialmente año tras año [17].
 - C. Inestabilidad dinámica: Se da cuando el desplazamiento lateral de los meandros es muy intensa y por lo tanto el corte natural de ellos ocurre muy frecuente [17].
 - D. Morfológica: este es el concepto más amplio, es decir, en cualquier cauce natural, la pendiente de un tramo cualquiera, el ancho y tirante de su sección transversal, así como el número de brazos en que se divida el cauce, dependen del gasto líquido que escurre actualmente y de su distribución de las características físicas y de los materiales que forman el fondo y orillas, así como de su calidad y cantidad de sedimento que es transportado [17].
- Por el material de las márgenes y el fondo.
 - A. Cohesivo: Son los cauces alojados en materiales predominantemente arcillosos [17].
 - B. No cohesivos: Se da cuando los cauces están alojados en materiales que no se desarrollan cohesión, sino que está formado por partículas sueltas [17].
 - C. Acorazados. Son aquellos cauces donde debido a lo extendido de la granulometría, puede presentarse el arrastre de las partículas finas, lo que da las bases necesarias para la formación de una capa protectora de material grueso en su superficie, la cual tiene la capacidad de mantener debajo de ella a toda la granulometría original [17].
 - D. Granulometría extendida: Son aquellos en que la desviación estándar para los diámetros es mayor que 3 [17].
 - E. Granulometría uniforme: Esto ocurre en el caso en el que la desviación estándar de los diámetros es mayor que 3 [17].
 - Por geometría.

- A. Rectos: En la mayoría de los casos esto ocurre en los tramos que son pequeños y transitorios, ya que con cualquier irregularidad que se presente en su forma, o alguna formación de bancos, o alguna obstrucción temporal, se originan disturbios locales que producen flujos transversales que inician la formación de curvas y meandros [17].
- B. Con meandros: Es en donde se presentan profundas depresiones en el fondo en las curvas y altas velocidades en la cercanía de las márgenes cóncavas [17].
- C. Trenzados: A esta caracterización pertenecen estos que no presentan un solo cauce, sino que por el contrario continuamente a lo largo de recorrido se dividen entre varios cauces que se entrelazan y pasada alguna distancia vuelven a separarse [17].
- D. Con islas: Son los ríos que presentan islas en su interior, las cuales pueden desplazarse aguas abajo [17].
- E. En estuario: Estos tienen la mayoría de su presencia en las desembocaduras a los océanos y están altamente influenciados por las mareas y contienen estratos o mezcla de agua salada [17].
- F. En pantano: Los cauces de estos normalmente son muy amplios por el hecho de no existir pendientes o ser muy pequeñas, además presentan zonas muertas y saturadas por altos niveles freáticos [17].

5.2. Desastres naturales.

Estos se definen como una seria actividad atípica que causa una interrupción en el pleno funcionamiento del día a día de las sociedades, la cual impacta de manera directa los bienes materiales, ambientales y económicos que exceden la capacidad de la comunidad para con sus propios bienes hacer frente a la situación mediante el o los usos de sus propios recursos [20].

Los desastres naturales son actividades de la tierra que se han presentado y se presentarán a lo largo de la historia, donde su principal zona de afectación es la infraestructura de cualquier tipo de terreno de tipo productivo y de servicios a nuestros países.

Los desastres naturales se clasifican de acuerdo a unas características principales, las cuales son:

A. Por su aparición.

- Súbitos: ocurren sorpresivamente y de manera inmediata. Por ejemplo: terremotos, tsunamis, avalanchas.
- Mediatos: estas son actividades que ocurren de manera más lenta y es por eso mismo que pueden ser predecibles, ejemplo de estos son: Huracanes, Sequias, Erupciones volcánicas.

B. Por su duración.

- De corta a mediana duración, en esta clasificación es posible encontrar: terremotos, huracanes, avalanchas y hundimientos.
- De larga duración, aquí se encuentran las sequias e inundaciones.

C. Por su origen.

- Geológico: estas actividades son aquellas que se dan fundamentalmente por el movimiento de placas tectónicas, vulcanismo, ruptura de la capa terrestre y también por irregularidades en el relieve o conformación del subsuelo. Los principales desastres que tienen origen gracias a problemas geológicos son: sismicidad, Tsunamis o maremotos y deslizamientos [18].
- Hidrológico: los desastres de origen hidrológico tienen su principal forma de manifestación por medio de inundaciones y sequias hidrológicas, entre estas se conocen dos grandes tipos las cuales son las crecidas de origen meteorológico y no meteorológico. Las crecidas de tipo meteorológico son aquellas que se atribuyen por tener cortos tiempos de retardo y por la complejidad del proceso de producción de escorrentía; en cambio las crecidas no meteorológicas son el producto de la incorporación de local a la red de drenaje en forma violenta de un volumen significativo de agua líquida [19].

5.3. Inundaciones.

Una inundación es el evento en el que gracias a la precipitación la cual se puede presentar como lluvia, nieve o granizo; oleaje, marea de tormenta, o alguna falla de estructura hidráulica que recibe un cuerpo hídrico (rio, quebrada, océano, mar) provoca un incremento en el nivel actual, los cuales causan problemas de invasión

del agua en lugares donde no es normal que está este presente, y con esto un daño a la población humana y/o animal [18].

5.3.1. Tipos de inundaciones.

- A. Inundaciones pluviales: Son aquellas en las que su principal consecuencia es la precipitación, y se da en el momento en el que el terreno se ha saturado y el agua de lluvia excedente comienza a acumularse estando estancada por horas y hasta días, hasta el momento en el que exista un cambio en la temperatura la cual produzca una evaporación y el suelo recobre su estado natural [18].
- B. Inundaciones fluviales: Se da cuando el agua que se desborda de los ríos empieza a empozarse en la superficie terrestre circundante, esta se mide en mm y en un lapso llamado intensidad [18].
- C. Inundaciones costeras: Son aquellos que se presentan por los vientos generados por un ciclón, el cual se hace sentir como marea de tormenta y permite que este penetre tierra adentro en las zonas costeras, generando el cubrimiento de grandes extensiones de terreno [18].

5.4. Hidráulica.

La hidráulica es la tecnología o estudio de la presión y flujo de un líquido el cual puede ser agua, aceite, entre otros; estos son materiales que toman la forma del contenedor en el cual puede ser vertido. Factores que influyen en la hidráulica: [19].

- ✓ Fuerza. Es la causa que produce un cambio en la dirección y también en la velocidad.
- ✓ Presión. Se traduce como la fuerza ejercida en un área determinada.
- ✓ Trabajo. Es la fuerza necesaria para mover un objeto durante una distancia conocida.
- ✓ Flujo. Es el movimiento realizado por el líquido.
- ✓ Caudal. Volumen desplazado en unidad de tiempo.

5.5. Modelación hidráulica.

La modelación tiene como objetivo principal simular un fenómeno real en un medio digital, a partir de un número de características definidas, donde este es conceptualizado y simplificado en mayor o menor medida, para que en su parte final

se tenga la información necesaria para describir y entregar conclusiones de excelente veracidad. La modelación se ha desarrollado en la hidráulica, donde su principal incursión data de tiempos antiguos, mediante el uso de pequeñas representaciones de estructuras y maquinas, acción por la cual se ha llegado a enunciar principios fundamentales en la hidráulica, sin embargo hasta hace poco tiempo la experimentación hidráulica se lleva a cabo bajo escalas reales ya sea en vertederos, canales, tuberías y presas [19].

Solo durante el último medio siglo, es que se ha empezado a desarrollar métodos por los cuales como resultado de experimentos realizados por medio de medios magnéticos se ha podido predecir la conducta de una estructura o prototipo [19].

5.5.1. Aplicación y aporte de los modelos hidráulicos.

En la hidráulica la modelación se utiliza para la simulación de situaciones reales que se presentan en el prototipo y cuyo comportamiento se desea conocer, esto debido a que las características del modelo y prototipo están fuertemente ligadas; la observación y diseño del modelo constituyen la información necesaria para comprender la naturaleza del prototipo, para lo cual se requiere que ellos dos este altamente relacionados [19].

Gracias a que las simulaciones se producen bajo condiciones controladas de laboratorio, estos tienen diversos usos como lo es la solución de problemas relacionados con las estructuras hidráulicas, fenómenos de infiltración o tramos de ríos y recientemente con el transporte de sedimento, inundaciones, etc.

Los conocidos como modelos de estructuras son usados para resolver problemas que tengan conexión con una variedad de estructuras hidráulicas o algunas partes de ellas, como por ejemplo determinar la capacidad hidráulica, reducir las pérdidas de carga en entradas a canales o tuberías o en secciones de transición, desarrollar métodos eficaces de disipación de energías en las diferentes corrientes al pie de las presas de sobreflujo, para de este modo reducir la erosión del lecho de los cauces de los ríos [19].

Tabla 5. Listado de modelos ejecutados con el programa HEC RAS.

	Título del Modelo	Descripción
1	Implementación del modelo matemático Hec-Ras para estudio de procesos de flujo en el proyecto hidroeléctrico Minas San Francisco.	En este trabajo se desarrolló la implementación del modelo matemático de Hec-Ras para el sistema hídrico conformado por los ríos Jubones y San Francisco, y las obras autorizadas para el proyecto de tipo Hidroeléctrico, titulado como Minas-San Francisco.
2	Aplicaciones del modelo HEC-RAS para el análisis del flujo no permanente con superficie libre.	Este proyecto se centra en demostrar la importancia de aplicar el modelo de simulación hidráulica Hec-Ras para la emisión de pronósticos hidrológicos de inundaciones en tiempo real en el Río Bogotá.
3	Modelación hidráulica e hidrológica para determinar la vulnerabilidad a inundaciones en un tramo comprendido entre los poblados Guápiles y la Rita.	En este proyecto se realizaron modelaciones hidrológicas e hidráulicas en la cuenca con el ánimo de conocer la vulnerabilidad a inundaciones de los terrenos aledaños teniendo como principal punto de inferencia la cercanía de los predios con el cauce del río Guápile.

Fuente: [20], [21], [26].

5.5.2. Clasificación general de los modelos hidráulicos

- **Modelo físico.** Es aquella simulación física de una estructura, esta permite la posibilidad de tener un sistema semejante al real que se puede controlar y observar para con esto tener una mejor perspectiva de los cambios que a futuro se pueden presentar [19].
- **Modelos geoméricamente semejantes:** son aquellos en los que en el modelo digital se conservan todas las variables geométricas. Ejemplo de estos serían: modelos de desarenadores, desgravadores, bocatomas, canales, entre otros [19].

- Modelos geoméricamente distorsionados: en estos se conserva la semejanza con el prototipo, pero aquellos factores para reducción o ampliación son distintos para varias dimensiones del mismo [19].

5.6. Software utilizado para la determinación de caudales máximos

HIDROESTA

Es una herramienta que facilita y simplifica cálculos de alta complejidad, sus principales actividades para realizar cada una de órdenes propuestas son:

- ✓ El cálculo de los parámetros estadísticos, para datos agrupados y no agrupados, tanto con los momentos tradicionales como con momentos lineales [20].
- ✓ Cálculos de regresión lineal, no lineal, simple y múltiple, así como regresión polinomial [20].
- ✓ Evaluar si una serie de datos se ajustan a una serie de distribuciones: normal, log-normal, gamma, log-Pearson tipo III, Gumbel y log-Gumbel, tanto con momentos ordinarios, como con momentos lineales. Si la serie de datos se ajusta a una distribución, permite calcular por ejemplo caudales o precipitaciones de diseño, con un período de retorno dado o con una determinada probabilidad de ocurrencia [20].
- ✓ Calcular a partir de la curva de variación estacional o la curva de duración, eventos de diseño con determinada probabilidad de ocurrencia [20].
- ✓ Realizar el análisis de una tormenta y calcular intensidades máximas, a partir de datos de pluviogramas, así como la intensidad máxima de diseño para una duración y periodo de retorno dado, a partir del registro de intensidades máximas. También permite el cálculo de la precipitación promedio por los métodos promedio aritmético, polígono de Thiessen e isoyetas [20].
- ✓ Los cálculos de aforos realizados con molinetes o correntómetros [20].
- ✓ El cálculo de caudales máximos, con métodos empíricos (racional y Mac Math) y estadísticos (Gumbel y Nash) [20].

5.7. Software utilizado para determinar zonas inundables.

HEC RAS.

El Centro de Ingeniería Hidrológica (HEC), una organización dentro del Instituto de Recursos Hídricos, es el centro de referencia oficiales para el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de EE.UU. en las áreas técnicas de hidrología superficial y subterránea, hidráulica fluvial y el transporte de sedimentos, estadísticas hidrológicas y el riesgo, análisis de sistema de depósito, la planificación de análisis, la gestión en tiempo real

de control de agua y una serie de otros temas técnicos estrechamente relacionados. HEC apoya las oficinas del Cuerpo de campo, oficinas y laboratorios, proporcionando métodos técnicos y de orientación, modelos de recursos hídricos y los servicios asociados, capacitación y talleres, realizando investigación y desarrollo, y la realización de la asistencia técnica y los proyectos especiales. Los productos que se desarrollan a partir de estas actividades son para el cuerpo, pero se encuentran disponibles al público [21].

El HEC-RAS está diseñado para realizar cálculos hidráulicos unidimensionales para una red completa de canales naturales y construidos [21].

5.8. Software utilizado para representar el comportamiento de las aguas.

ArcGis.

ArcGis es un sistema con un alcance inmenso en donde una de sus principales funciones es recopilar, administrar, organizar, analizar y compartir información geográfica de un gran número de lugares del planeta. Esta es la plataforma líder en crear y utilizar sistemas de información geográfica, el cual es un hecho que la pone en la vida de muchas personas que desean poner al servicio de millones de usuarios ya sea de empresas, gobiernos, centros educativos, entre otros., información de tipo geográfico [22].

Algunas de las funciones que ArcGis presta y las cuales pueden ser aplicadas a este proyecto son:

- ✓ Crear, compartir y utilizar mapas inteligentes [22].
- ✓ Compilar información geográfica [22].
- ✓ Crear y administrar bases de datos geográfica [22].
- ✓ Resolver problemas con el análisis espacial [22].
- ✓ Crear aplicaciones basadas en mapas [22].
- ✓ Dar a conocer y compartir información mediante la geografía y la visualización [22].

5.9. Distribución utilizada por Hidroesta para la determinación de caudales máximos.

- Distribución normal.

La distribución normal es una de las distribuciones de variable continua que con más frecuencia aparece cuando lo que se quiere modelar son fenómenos reales. Su gran importancia radica en que esta es capaz de modelar un sinnúmero de

fenómenos naturales y sociales, donde los principales mecanismos o variables que intervienen en estos son desconocidos, por la enorme cantidad de variables incontrolables que en ellos interactúan, el uso del modelo normal puede justificarse asumiendo que cada observación se obtiene como la suma de unas pocas causas independientes [23].

5.10. Estaciones limnográficas.

Es una estación fija que cuenta con un limnómetro o regla y de la mano de estos dos tiene un limnografo, el cual tiene como principal función registrar las variaciones del nivel del río en el lugar de control de forma continua, donde este debe mantener coincidencia con el nivel del limnómetro para que la medición sea de absoluta veracidad. Este tipo de estaciones se utilizan en ríos donde la variabilidad de los niveles del mismo es frecuente [24].

6. MARCO CONCEPTUAL.

Los siguientes conceptos son citados en el presente proyecto para de este modo tener una plena descripción de cada uno de los factores que puedan influir en las fases del mimo, es por esto que se describirá el significado de los términos utilizados de modo que se logre un entendimiento detallado de todas las actividades que abarca la posible inundación de un lugar, ya que no en todos los casos estos son usados en la cotidianidad lo cual pueda servir para una mala comprensión.

- Amenazas naturales. Es definida como “aquellos elementos del ambiente biofísico que son peligrosos al hombre y que están causados por fuerzas extrañas a él”. También se conoce como amenazas naturales a todos los fenómenos atmosféricos, hidrológicos, geológicos entre los cuales se encuentran especialmente los sísmicos y volcánicos, los incendios fenómenos que debido a su ubicación, severidad y frecuencia, tienen el potencial de afectar adversamente al ser humano, a sus estructuras y a sus actividades.
- Fenómenos por inundación o inundaciones. Este fenómeno hace referencia a un cuerpo hídrico que por una elevación desmedida de su nivel es capaz de ocupar una porción del terreno, que en condiciones normales se mantiene por encima de los niveles naturales del río, quebrada, mar, entre otros [25].

Las inundaciones se pueden clasificar según su origen, entre las que están:

- Inundaciones por desbordamiento de ríos. El desbordamiento de los ríos se da cuando la precipitación la cantidad de agua vertida en el cuerpo hídrico es capaz de exceder la capacidad que pueden albergar los canales para conducir el agua y es por eso que se produce un desborde el cual puede o no afectar poblaciones aledañas [25].
- Inundaciones lentas o progresivas. Estas se presentan en las zonas planas que se encuentran cerca de las riberas de los ríos, en la mayoría de los casos se da cuando las precipitaciones permanecen por largo tiempo [25].
- Inundaciones torrenciales o súbitas. Se dan en el momento que se producen tormentas en cuencas donde su estructura se caracteriza por tener altas pendientes y poca cobertura vegetal; este tipo de inundaciones tienen la principal característica de crearse en minutos u horas la cual desarrolla una fuerza capaz de arrastrar materiales y con esto poseer un alto poder destructivo [25].

- Inundaciones costeras. Estas son producidas por las olas ciclónicas, olas que son un crecimiento anormal del nivel del mar el cual está asociado con huracanes y otras tormentas marítimas; estas son producidas por fuertes vientos de la costa y/o por celdas de muy baja presión atmosférica [25].
- Amenaza de inundación en áreas urbanas. Estas se dan principalmente por la falla de los sistemas de alcantarillado de las ciudades o los elementos que las constituyen, gracias a la ocurrencia de eventos que son capaces de superar la capacidad hidráulica para la cual están diseñados, lo cual es algo que ocurre con gran frecuencia en la ciudad de Bogotá [25].
- Vulnerabilidad social. Esta hace referencia a las características propias de una sociedad para anticipar, resistir y recuperarse del impacto generado por una actividad natural. Cuando nos referimos a anticipar, esto hace referencia a la toma de decisión por parte de la comunidad afectada para desalojar el lugar que puede llegar a ser afectado o la adopción de estrategias las cuales les ayuden a sobrellevar el impacto generado por el desastre natural [26].
- Vulnerabilidad física del área de estudio. Esta es aquella que establece el grado de afectación de un conjunto de elementos en riesgo, como resultado de un fenómeno natural del cual ya se conocía su magnitud.
- Falla en el sistema de alcantarillado pluvial. En el momento en el cual se está construyendo la urbanización de las ciudades, de la mano de esta hay gran diversidad de actividades entre las cuales esta la modificación del drenaje natural, aumentando las fuentes de posible falla y las modalidades de daños a los elementos que rodea o circundan alrededor de la misma, algunas de las fuentes generadoras de la falla de alcantarillado fluvial son [27]:
 - a) Obstrucción.
 - b) Desplazamiento.
 - c) Volcamiento.
 - d) Caída.
 - e) Rotura.
 - f) Fuga.
 - g) Represamiento.
- Resiliencia. Consiste en una característica que tiene una comunidad y organismo para recuperarse por un daño causado por una afectación de tipo natural; en donde está por medio de información anticipada esta preparada para poder sobrellevar las acciones en contra que pueda sufrir. El riesgo no

puede ser el mismo siempre ya que este depende de la vulnerabilidad, es por esto que a medida que la resiliencia sea mayor el riesgo disminuirá [28].

- Zonas de amenaza por inundación. Las zonas que están cerca de un cuerpo de agua y que además de estarlo no cumplen con la mínima distancia, son consideradas siempre como lugares con una alta amenaza las cuales denotan un peligro latente de que en cualquier momento un evento físico natural, causado o inducido por efectos del hombre por simple acción accidental, se presenta con una severidad suficiente para causar pérdida de vidas lesiones u otros impactos en la salud, así como también daños o pérdidas totales de bienes [25].
- Gestión de riesgo. Este es un sistema que busca dar las ideas para poder sobrellevar los efectos producidos por las amenazas y con esto reducir la incertidumbre de su acción, a través de una secuencia de actividades humanas que incluyen evaluación de riesgo estrategias de desarrollo para manejarlo y mitigación del riesgo utilizando recursos gerenciales [29].
- Mitigación del riesgo. Esta es una de las medidas que se deben llevar a cabo en las zonas de amenaza, lo cual se refiere como el conjunto de medidas de intervención prescriptiva o correctiva dirigidas a reducir o disminuir los daños y pérdidas que se puedan dar a través de los diferentes reglamentos de seguridad y proyectos de inversión pública o privada donde su principal objetivo es reducir las condiciones amenaza, en su mayor extensión y la vulnerabilidad existente [29].
- Análisis y evaluación de riesgo. Es el modelo mediante el cual se relaciona la amenaza y la vulnerabilidad de los elementos expuestos, con el fin de determinar los posibles efectos sociales, económicos y ambientales y sus probabilidades. Se estima el valor de los daños y las pérdidas potenciales, y se compara con criterios de seguridad establecidos, con el propósito de definir tipos de intervención y alcance de la reducción del riesgo y preparación para la respuesta y recuperación [29].

7. METODOLOGÍA.

El proyecto se realizó principalmente en la cuenca baja del Río Tunjuelo, la cual es aquella que abarca gran parte del perímetro urbano, en la misma se tuvieron en cuenta factores de tipo climático destacando la recitación, de tipo estructural como el tipo de suelo, entre otros. A continuación, se describirá la forma en que se hallaron las variables necesarias para el modelo y la representación de los resultados bajo la perspectiva de software determinados.

7.1. Toma de puntos que rodean la cuenca baja del río Tunjuelo.

Esta fue la primera parte del modelo, puesto que, sin esta labor no habría sido posible hacer algo del mismo, aquí lo que se hizo fue tomar la distancia entre diferentes puntos y sus correspondientes elevaciones en aproximadamente 60 tramos. La forma en la cual se tomaron estos, fue moviéndose por la parte lateral del río y cada 80 o 100 metros, se tomaba la altura en metros sobre el nivel del mar y la distancia lateral con respecto al otro punto. Estos tramos contenedores de los diferentes puntos se iban nombrando con números de mayor a menor, lo cual tiene dos razones una porque se iba muestreando en el orden de aguas arriba hacia aguas abajo y la otra porque es la manera en la que Hec Ras entiende cuales partes están aguas arriba y cuales aguas abajo.

7.2. Determinación de caudales para los diferentes periodos de retorno.

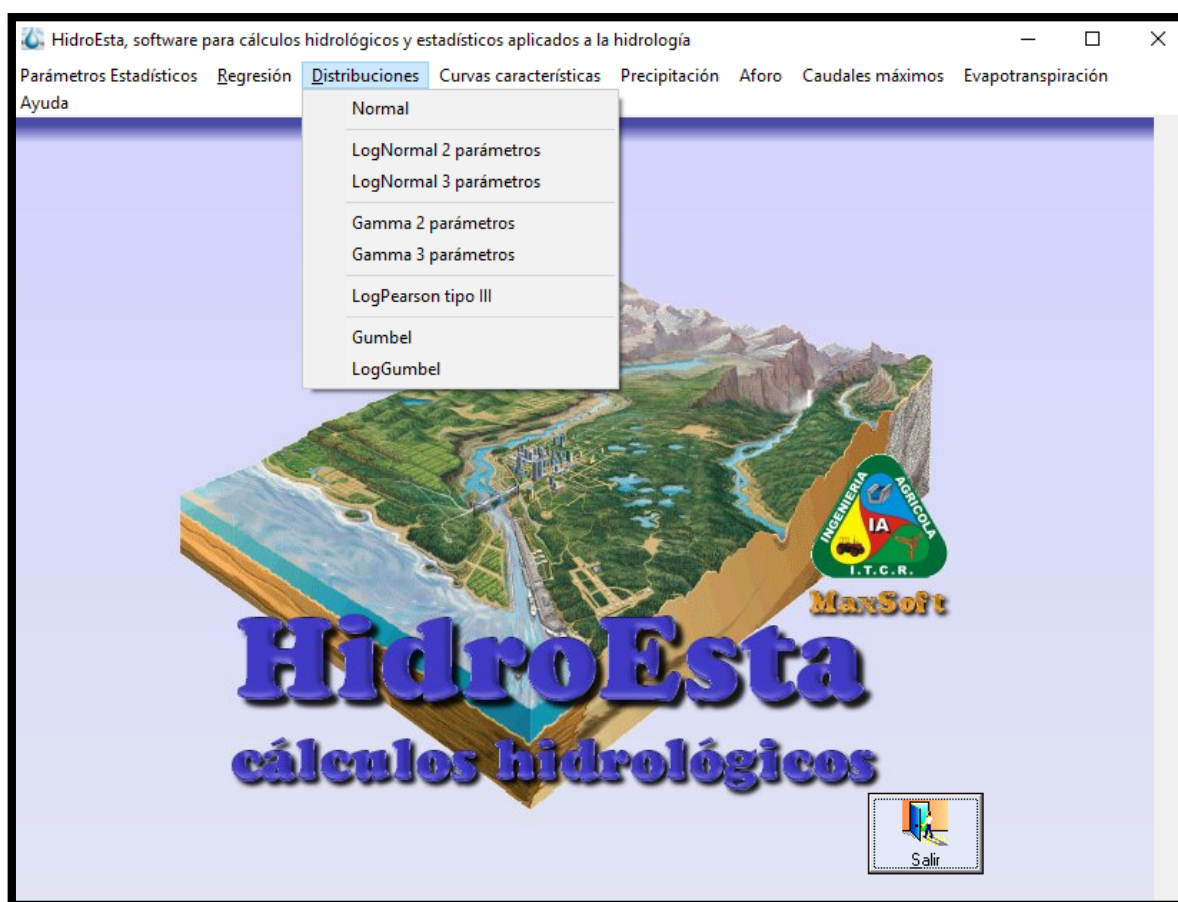
Para lograr determinar cuáles serán los caudales que se pueden presentar en un periodo de retorno de 10, 20, 50 y 100 años, se empleó el software Hidroesta, ya que este a partir de datos de caudal es capaz de hallar el dato correspondiente al periodo de retorno necesario del lugar en específico. Los datos escogidos para hallar el caudal fueron los pertenecientes a las estaciones meteorológicas Ciudad Bolívar, Sena K 30, Villa Pérez Automática y Puente Bosa.

Los periodos de retorno utilizados se fijaron gracias a la caracterización de amenaza media que se le da a la cuenca del río Tunjuelo en el decreto 364 de 26 de agosto de 2013.

Para el proceso que tenía como fin la determinación de los caudales correspondientes a los periodos de retorno nombrados en el transcurso del presente documento, el primer paso fue realizar una búsqueda de los datos de caudal adjudicados a las estaciones que cubren esta parte del río Tunjuelo; el segundo fue ingresar los datos en el software por medio de la función de distribución

normal que presta el mismo, luego de esto se ingresó el periodo de retorno igual a 10 años y por último se le ordeno a Hidroesta que hallara el caudal máximo en función del periodo de tiempo ingresado; de este mismo modo se hizo para los periodos de retorno de 20, 50 y 100 años. A continuación, se muestra el proceso realizado en el software Hidroesta.

Figura 1. Esquema determinación de caudales.



Fuente: Autor.

En esta parte lo que se hizo fue escoger la opción de distribución normal, dado que, es esta la mejor manera de representar en este software el comportamiento de los caudales. En la figura 3, se muestra la ventana en la que se deben ingresar los datos, en el presente caso se ingresaron los 12 datos promediados de las tres estaciones, estos se ingresan en la columna que nombra el programa con una x, luego de esto se procede a ingresar el periodo de retorno y se le ordena al programa que halle los caudales en función del tiempo, acción que es representada con las

siglas $Q=f(T)$. Para el caso de la estación Puente Bosa se emplearon los datos del 2015 para los doce meses del año.

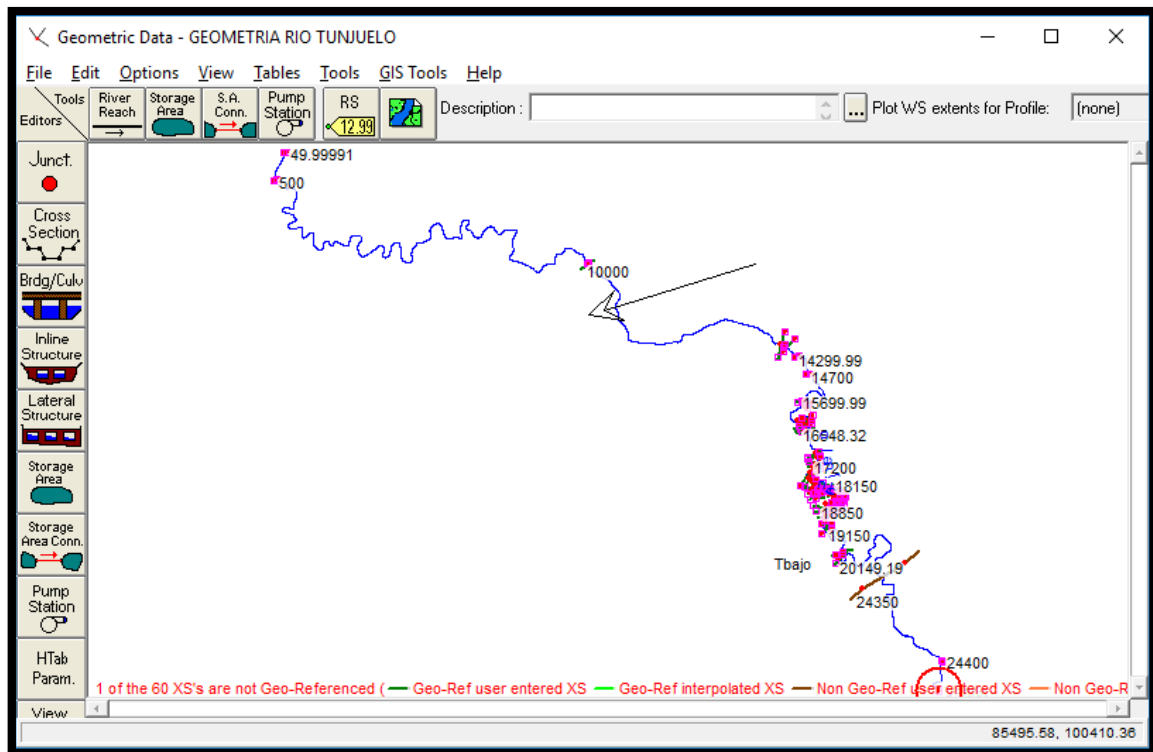
Este Software es posible conseguirlo de manera gratis en la Web. Este fue descargado de: <http://civilgeeks.com/2012/08/10/programa-para-calculos-hidrologicos-hidroesta/>.

7.2.1. Software utilizado para determinar zonas inundables.

El software utilizado para la determinación de zonas en la cuales se podría presentar una inundación fue Hec Ras, gracias a que esta es una herramienta de gran ayuda en la modelación del cauce natural de un río o canal, en donde una de sus principales características es la entrega de un modelo de alta complejidad el cual en su fase de construcción tuvo presentes diversos factores que componen un modelo, como lo son las variables hidráulicas y las variables estructurales. A continuación, se presentará una detallada descripción del proceso realizado para la modelación de la cuenca baja del Río Tunjuelo en estado de flujo permanente, así como en flujo no permanente.

7.2.1.1. Forma de la cuenca baja del río Tunjuelo y ubicación de los puntos.

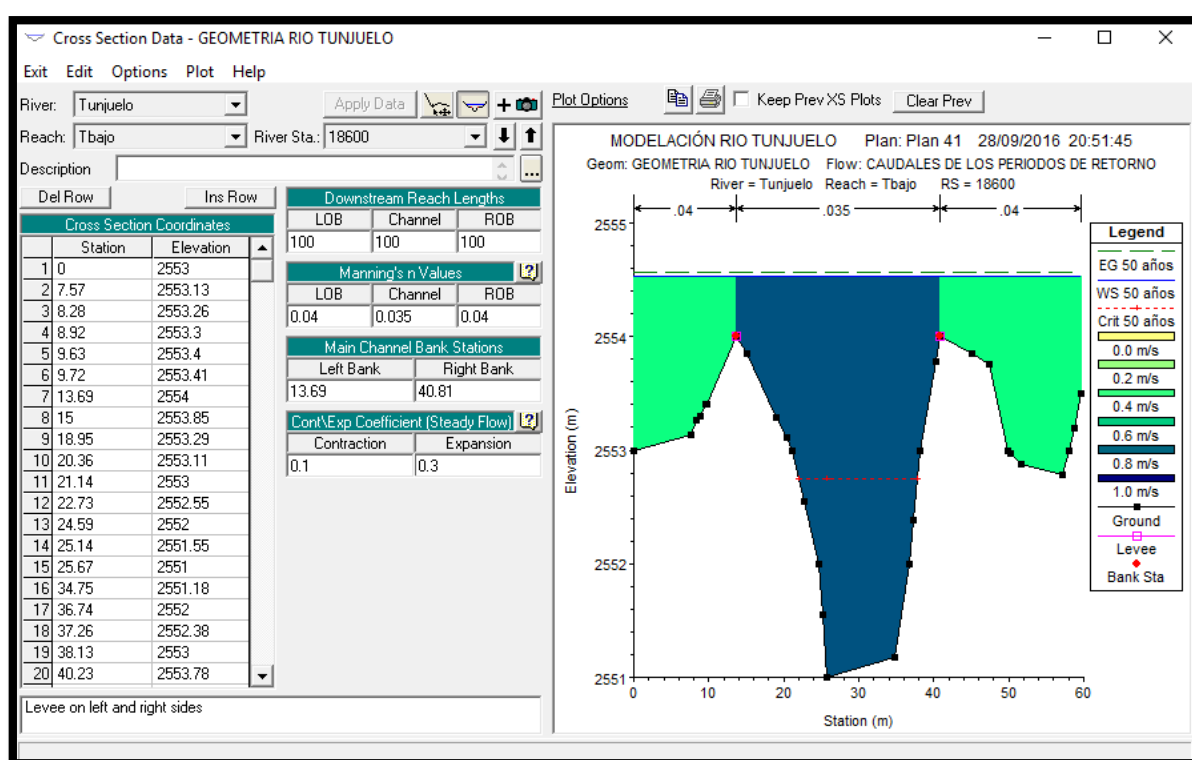
Figura 2. Geometría del Río Tunjuelo



Luego de haber guardado y creado en el ordenador el proyecto nos aparecerá esta ventana, aquí daremos clic en River Reach y aparecerá un lápiz con el cual haremos un dibujo de arriba hacia abajo para de este modo decirle al programa que la forma en la que modelaremos la cuenca será de aguas arriba hacia aguas abajo, luego de eso él nos pedirá un nombre el cual será el nombre del río, y un tramo el cual para el caso del presente proyecto será la cuenca baja.

Una vez creado el croquis del tramo de estudio, seguiremos con la construcción desde el punto de vista geométrico. Para empezar con esta labor lo que hacemos es entrar en la parte que dice Cross Section y aparecerá la siguiente ventana:

Figura 3. Perfil de inundación



Fuente: autor.

En esta parte es donde se empieza a crear la forma de la cuenca y las diferentes partes de la misma, en la parte Station de Cross Section X-Y coordinates el dato ingresado fue el del siguiente punto, es decir, la distancia en metros que hay desde el punto de origen hasta el siguiente. En la columna de Station se inicia con el primer punto de ese tramo, el cual es el punto de inicio por eso es igual a 0, la siguiente es la distancia en metros que hay entre el punto 1 y 2, para este caso es 7,57 y del mismo modo se hace con la distancia entre el punto 2 y 3, 3 y 4 y todos los demás.

En la parte de Downstream Reach Lengths se ingresó la distancia existente en esta sección y la siguiente sección aguas abajo del cauce tanto en su margen derecha como izquierda, para nuestro caso se hizo cada mil metros.

En Manning's Values se introdujo el n de Manning correspondiente a este tipo de terrenos el cual fue de 0.05, esto dado que en las partes donde hay vegetación su principal característica es espesa, y las cunetas son sin revestimiento.

Los valores utilizados en la parte de Main Channel Bank Stations fueron los límites en los cuales si se sobrepasa se puede presentar un desborde, estos no son únicos, sino que van variando en todas las partes de muestreo.

En los coeficientes de contracción y expansión que se estipularon fueron valores entre 0.1 y 0.3 respectivamente.

Luego de haber introducido los datos para esa sección se le dio en Apply Data para que el programa guardara el trabajo realizado.

Después de ingresar los datos relacionados con la geometría y demás, se procedió a poner en el modelo los datos obtenidos en Hidroesta. A continuación, se describirá de forma detallada la manera en la cual se realizó esta parte del trabajo.

Figura 4. Caudal para TR de 10, 20 y 50 años

Flow Change Location			Profile Names and Flow Rates		
River	Reach	RS	10 años	20 años	50 años
1 Tunjuelo	Tbajo	25000	30	50	70

Fuente: autor

En esta ventana se pueden hacer varias cosas, una de ellas es decirle al programa el número de caudales que se van a simular en el modelo, en este caso se usaron 3. Otra es el la de darle nombre a los diferentes casos los cuales fueron 10 años, 20 años, 50 años, 100 años y sus respectivos caudales los cuales deben estar en m^3/s .

Una ventana de vital importancia y que se desprende de la anterior es la que se refiere a las condiciones de contorno, la cual se activa al dar clic en Reach Boundary Conditions, en esta se le ordena al programa la pendiente predominante en el Río la cual fue de 0.05% y el régimen del río en el caso en cuestión usamos el régimen subcrítico debido a que se tienen velocidades y pendientes bajas. Luego de esto se procedió a guardar el trabajo realizado para que el sistema lo adjudicara a su proceso de simulación.

Este software es posible conseguirlo de manera gratuita en la página oficial del programa. Hec Ras 5.0.1. fue descargado de: <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/downloads.asp>

7.3. Representación del comportamiento de las aguas.

Para demostrar la forma en la cual se comportarían las aguas a través del recorrido del río y en caso de desborde como estas afectarían los barrios, cuadras, empresas y demás sitios circundantes, lo que se procedió a hacer fue por medio del software ArcGis un proceso de área de influencia representado por una función que este tiene, en la cual lo que hace es crear un aumento de la línea representativa de la cuenca, con una longitud ordenada por el usuario; en el caso del periodo de retorno de 10 años, la longitud hallada fue de 1 metro dato promedio calculado gracias a la altura representada por Hec-Ras en la puesta en marcha del caudal predominante para este periodo de tiempo. Para el caso en el cual tratamos un periodo de retorno de 20 años, el dato determinado por el software fue igual a 3 metros el cual lo hallo del mismo modo que hizo para el primer caso, por último, el dato determinando para un periodo igual a 50 años fue de 5 metros. Cabe aclarar que para los periodos de tiempo posteriores (20 y 50 años) se sumó la altura del mismo con la del anterior, es decir, en el caso de los 20 años se sumó el metro que subiría para los 10 años más los dos metros que subiría en los 20, es por esto que la altura del ultimo conjunto de años da un número mucho mayor que el del primero.

En la representación de los caudales definidos con los datos de la estación puente bossa, se obtuvieron alzas en los niveles del río no mayores a 0,8m. Aquí se hizo lo mismo que con los datos obtenidos para las otras estaciones.

8. RESULTADOS

Para el caso se tuvieron dos escenarios, uno con las estaciones que tiene el Ideam rodeando la cuenca baja y el otro con la única que tiene el acueducto. A continuación, se describirán los resultados obtenidos con las estaciones del Ideam seguidas de la del acueducto.

Para lograr conocer cómo se comportaría un determinado caudal a lo largo de la cuenca baja, lo que se procedió a hacer fue tomar las coordenadas junto con las elevaciones por las diferentes partes de la misma comprendiendo una distancia entre cada punto, distancia en la cual se iban tomando las alturas (m.s.n.m) para que el programa pudiera graficar lo más cercano a la realidad la forma del río, actividad que se realizó con el ánimo de cubrir toda esta parte del cuerpo hídrico y de ese modo poder determinar en las partes donde se podrán llegar a presentar inundaciones para los diferentes periodos de tiempo.

Entre uno de los parámetros exigidos por Hec Ras para lograr un gráfico de alta calidad ya sea de un canal, río u otro cuerpo hídrico, está el n de Manning, el cual es un valor que representa múltiples factores del recurso en cuestión como lo es la rugosidad de la superficie, la vegetación que lo rodea o hace parte del mismo, la irregularidad del borde o canal, el alineamiento del canal, entre muchos otros.

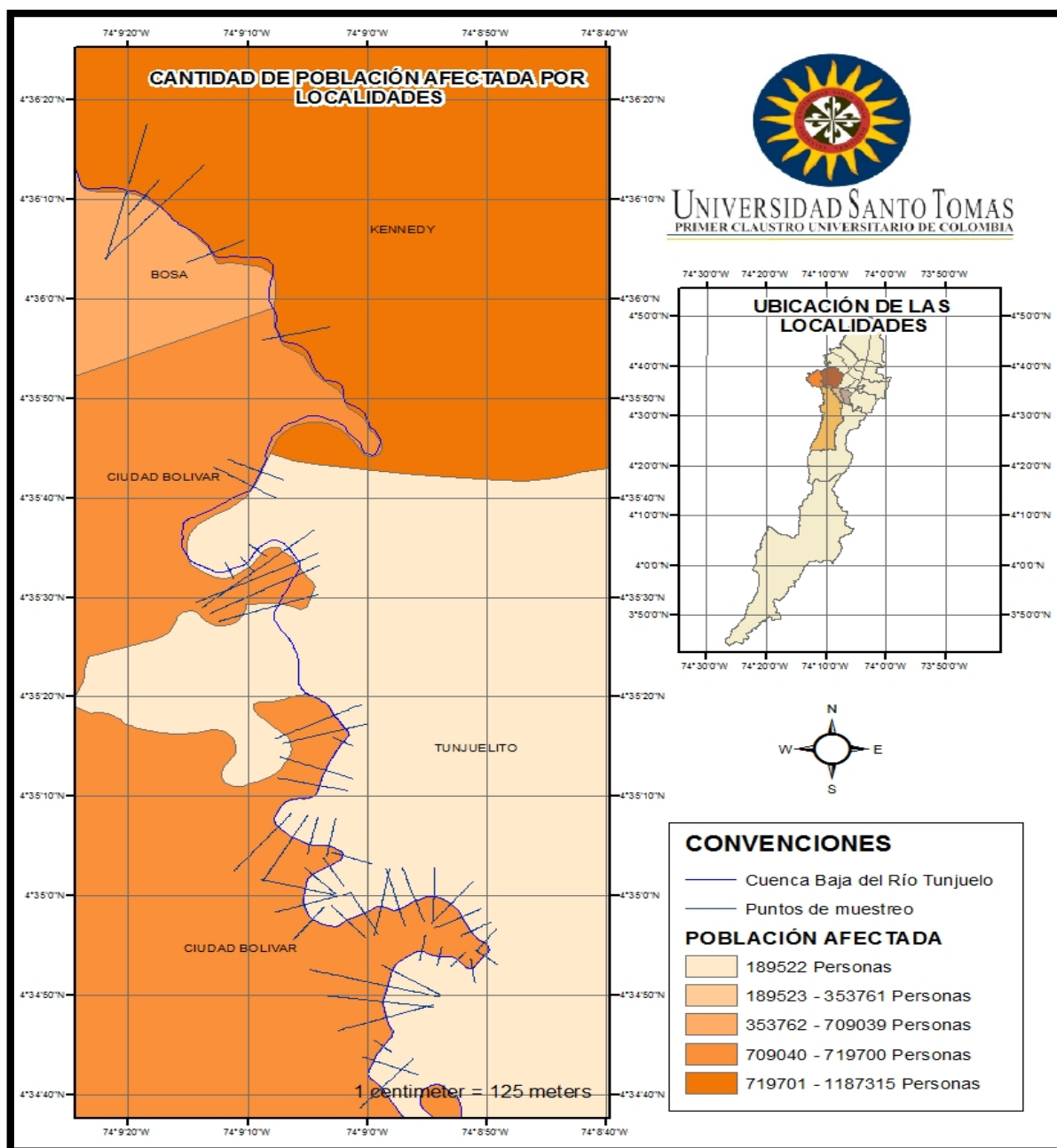
Para este caso el número escogido fue de 0.04 a 0.05, número que representa partes donde la composición del terreno posee tierra con ligera vegetación; descripción que representa de buena manera esta parte del río ya que son lugares donde la vegetación no presenta gran altura.

Luego de diseñar la geometría de la cuenca, lo que se procedió a hacer fue a ingresar los caudales nombrados anteriormente para los periodos de retorno enunciados en el modelo, y de este modo determinar cómo se comportarían según las características de tipo geométrico presente en la zona, para esto se le ordeno al programa que tomara tres escenarios en los cuales tomara como base para simular los caudales hallados en el proceso realizado por el Software Hidroesta.

Con base en los datos obtenidos para las tres estaciones meteorológicas en el año 2015 trabajo que se realizó en Hidroesta, fue posible establecer que, para un periodo de 10, 20 y 50 años se tendrá un caudal de 30, 50 y 70 m^3/s respectivamente.

8.1. Población afectada por localidades.

Mapa 2. Población afectada por localidad.



Fuente: Autor.

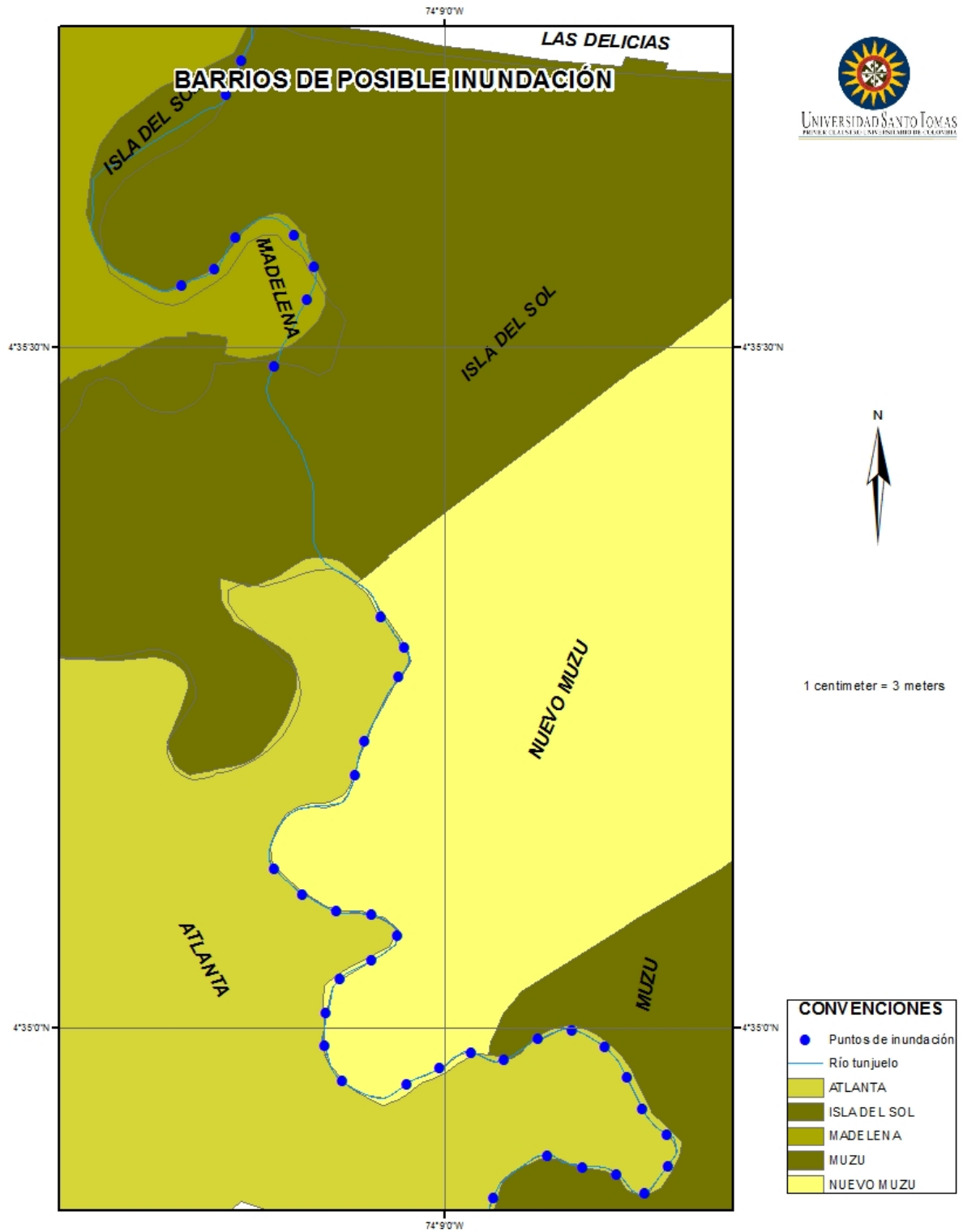
Gracias al mapa anterior fue posible establecer que serán 4 localidades las afectadas en el momento que se presente una inundación, en donde se encuentran algunas de gran importancia y población en la ciudad de Bogotá como lo son Bosa, Kennedy, Ciudad Bolívar y Tunjuelito. Se evidencio que el potencial peligro, tiene

algunas características de gran relevancia, dado que, a pesar que existen varios puntos de posible inundación no existe un gran número de personas viviendo en estas zonas como se evidencia en la localidad de Tunjuelito. Mientras que en la localidad de Kennedy donde la cantidad de personas es mucho mayor los puntos de inundación tienden a disminuir. Cabe aclarar que la totalidad de las personas no se verán afectadas dado que las aguas no cubrirán toda el área circundante.

8.2. Barrios afectados en caso de inundaciones.

Gracias a la siguiente representación es posible evidenciar que en el momento en el que se presenten problemas de inundación provenientes de la cuenca baja del Río Tunjuelo, se verán afectados al menos 10 barrios, en donde los barrios que se verán más afectados serán los conocidos como Muzú, Nuevo Muzú, Isla del Sol y Madelena, lo cual es posible evidenciar en el mapa de la zona, el cual muestra que es en estas partes donde está la mayor cantidad de zonas con posibles inundaciones; seguidos por Guadalupe, las Delicias y Villa del Río en donde las partes de inundación son muy inferiores comparados con los barrios de gran afectación, lo cual puede tener explicación en los problemas relacionados con el no respeto de la ronda hídrica del Río tanto de vías como de predios con fines de vivienda o de tipo comercial, caso que fue posible evidenciar en el momento de muestreo, así como las diferentes intervenciones del cauce las cuales tienen efecto desde hace más de 80 años, cuando lo que se quiso fue aprovechar sus aguas para el abastecimiento del acueducto de Bogotá con la creación de la primera planta de tratamiento de la ciudad.

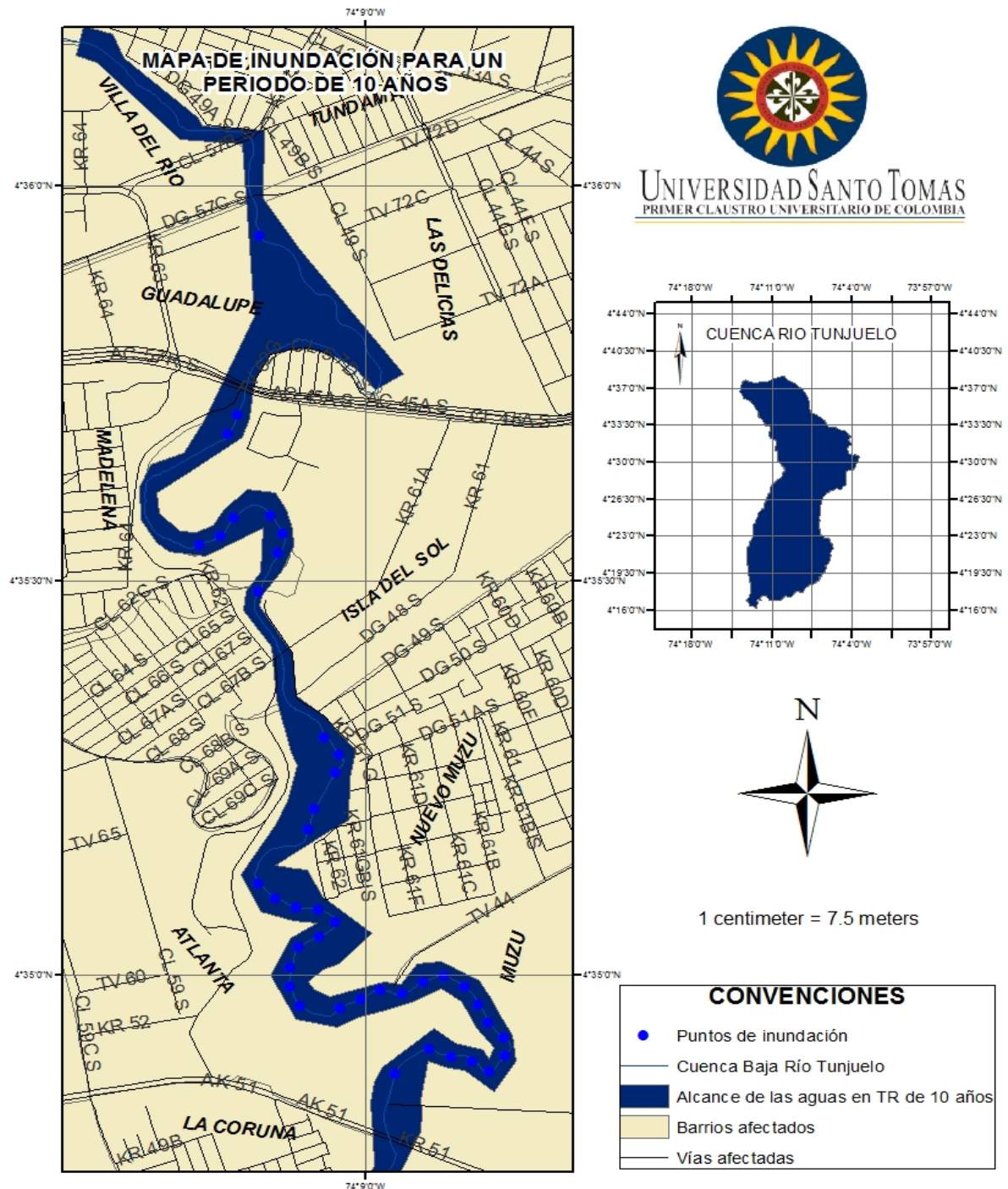
Mapa 3. Afectación a barrios aledaños a la cuenca del Río Tunjuelo por posibles inundaciones.



8.3. Representación de las zonas de inundación.

8.1. Zonas afectadas en un periodo de retorno de 10 años.

Mapa 4. Zonas de inundación para un periodo de retorno de 10 años



Fuente: Autor.

La primera zona de acuerdo con el muestreo realizado que se llegaría a ver afectada por el desbordamiento de las aguas de la cuenca baja del río Tunjuelo se encuentra ubicada en el barrio La Coruña, en el círculo urbano comprendido entre la carrera 48B y la carrera 49A, en esta parte el agua alcanzaría niveles superiores al actual por encima de 1 metro y una velocidad predominante de 0.2 m/s.

Una segunda zona se encuentra cerca al terreno comprendido entre la carrera 61G y la carrera 61B, pertenecientes al barrio Nuevo Muz, en esta parte el agua alcanzaría un nivel de sobrepaso igual a 0,4 m y una velocidad de recorrido de 0,6m/s.

La tercera zona haría parte del barrio Atlanta en el cual en lo que comprende entre sus carreras 52 y transversal 65, el nivel actual sería sobrepasado en 0,8 m con una velocidad de 0,4m/s, parte que tiene a cercanías urbanizaciones como Reserva de Madelena la cual sería población que se vería afectada en caso de que el alcantarillado se viera colapsado por la cantidad de agua que debería albergar.

Una cuarta zona estaría muy cerca a empresas como PETCO y Productos Stahl de Colombia S.A., que son empresas que se encuentran a escasos metros del punto de afectación, en estas es posible afirmar que con unos planes de mitigación de poca inversión habría la posibilidad de que los resultados no fueran críticos ya que el agua no sobrepasaría el nivel actual en más de 0.5 m y la velocidad máxima alcanzada sería de 0.6m/s.

Una de las principales zonas de mayor afectación en todos los frentes es la que está ubicada muy cerca de la transversal 44, en donde se encuentran urbanizaciones de hasta tres etapas como lo es la Urbanización el Triángulo, debido a que en esta parte el agua alcanzaría niveles por encima del actual de hasta 0.8m y velocidades de 0.6m/s.

La quinta zona de principal afectación se encuentra en la parte norte de la cuenca, más exactamente en la Kr 61 perteneciente al barrio Isla Del Sol donde hay urbanizaciones como Santa Rosa, en esta parte el panorama es crítico ya que el agua alcanzaría niveles menores o iguales a 1 m con velocidades de 1m/s, es decir, que si una edificación está a los 100 metros de distancia con el río en menos de 5 minutos esta ya estaría siendo afectada por el desbordamiento del cauce.

La última zona afectada en un periodo de retorno no mayor a 10 años, es la que se encuentra cerca de la carrera 57 del barrio isla del Sol, en esta hacen presencia

urbanizaciones como Urbanización Industrial Puente Bosa y la empresa Oficinas y Talleres Expreso del Paiz S.A., predios que estaría siendo perjudicados por el agua desbordada debido a que estas alcanzarían niveles mayores al actual de hasta 0.8m con velocidades de 0,4m/s.

8.2. Zonas afectadas en un periodo de retorno de 20 años.

En el siguiente mapa será posible evidenciar el alcance que tendrán las aguas desbordadas pertenecientes al Río Tunjuelo, el cual muestra las diferentes Calles, Carreras y Avenidas de posible afectación.

La primera zona que se vería afectada en un periodo de tiempo igual a 20 años sería aquella que se encuentra ubicada en el barrio La Coruña, en la parte cercana a las carreras 48^b y 49^a, ya que, según los resultados obtenidos, en esta parte el agua sería capaz de subir en un máximo de 1,3 m, con una velocidad de recorrido no superior a los 0.4m/s.

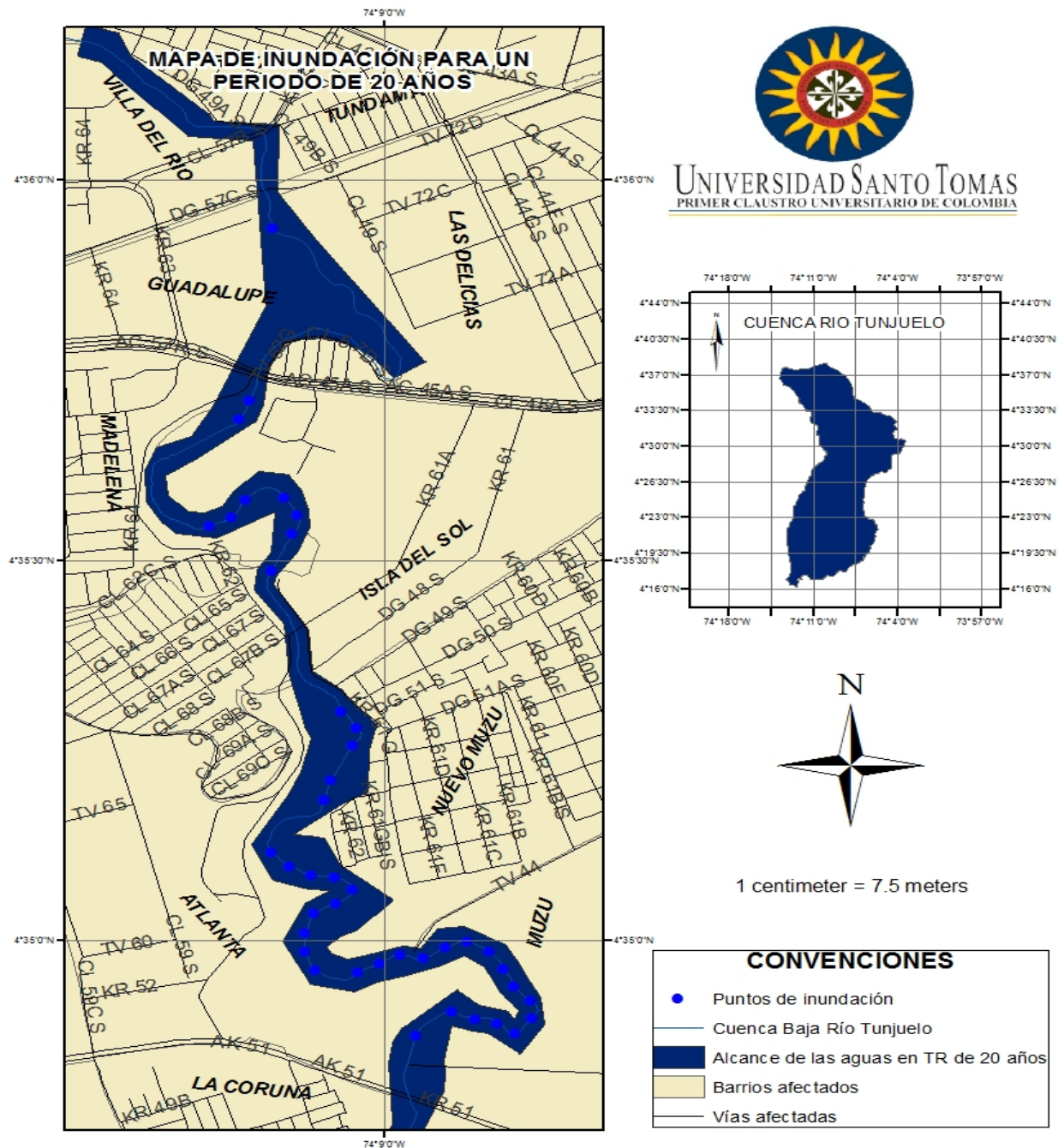
La segunda zona es una de las zonas que no estaría en peligro de inundación en un periodo de 10 años, pero si en uno de 20 años, ya que las aguas subirían 0.2 m con una velocidad predominante de 0.6 m/s, lo cual sería peligroso debido a que en esta parte se encuentra ubicada la estación de servicio Cotranspensilvania y la empresa Colombo Española de curtidos.

Otra de las zonas que presentaría problemas de inundación es aquella que se encuentra a cercanías de Colmotores, predio que está ubicado al costado derecho de la cuenca en el Barrio La Coruña, este fenómeno tendría lugar debido a que las aguas subirían 1,4 m con una velocidad de recorrido igual a 0,6m/s.

Una de las zonas que pasaría de tener un problema de mayor afectación en 20 años, es aquella que esta cerca de las empresas PETCO y Stahl de Colombia S.A., ya que en estos lugares el agua si subiría de 0.5 a 1.2m y la velocidad que predominaría sería de 0.8 m/s.

Otra zona que presentaría un problema de mayor afectación es aquella en la que esta el proyecto de urbanización con tres etapas como conocido como “Urbanización el Triángulo”, ya que en esta parte las aguas subirían en un 50% comparado con 10 años antes, con una velocidad correspondiente de 0.6 m/s.

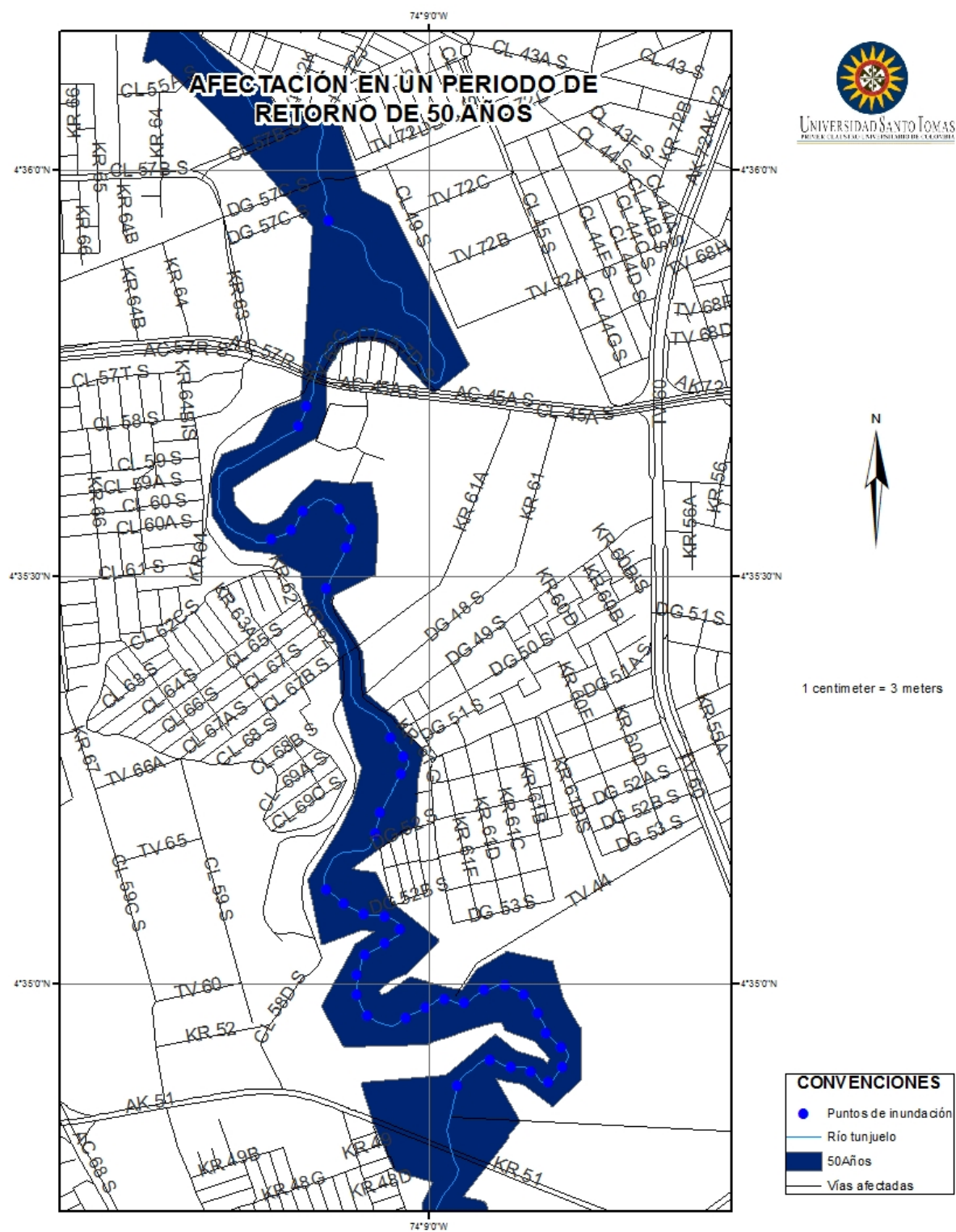
Mapa 5. Zonas de inundación para un periodo de retorno de 20 años



Fuente: Autor.

8.3. Zonas afectadas para un periodo de retorno de 50 años.

Mapa 6. Zonas de inundación para un periodo de retorno de 50 años



Fuente: Autor.

Tomando como base los resultados obtenidos gracias al cambio en la representación de los perfiles y principales puntos de inundación al pasar de un periodo de retorno al otro, fue posible establecer y comprobar que a medida que los años vayan incrementando los mismos lugares que tendrán problemas en 10 años los tendrán en 20 y 50, con la única diferencia de que si para el primer periodo es escenario es de alta afectación, para el posterior es aún peor, dado que en algunos casos el agua sube en proporciones altas y su velocidad de recorrido también como se pudo evidenciar a medida que se iban inspeccionando los diferentes perfiles, como se evidenció en el momento en el que se iba cambiando el escenario de un año al otro.

Junto con esto fue posible evidenciar por medio de la representación en ArcGIS, que en un periodo de retorno igual a 50 años, el alcance de las aguas y el esparcimiento de las mismas va a ser mayor que 30 y 40 años antes, lo cual se traduce en un grado de afectación mayor en barrios circundantes, y la adjudicación de barrios que en un principio no estaban en peligro, pero que transcurrido este periodo de tiempo si lo estarán.

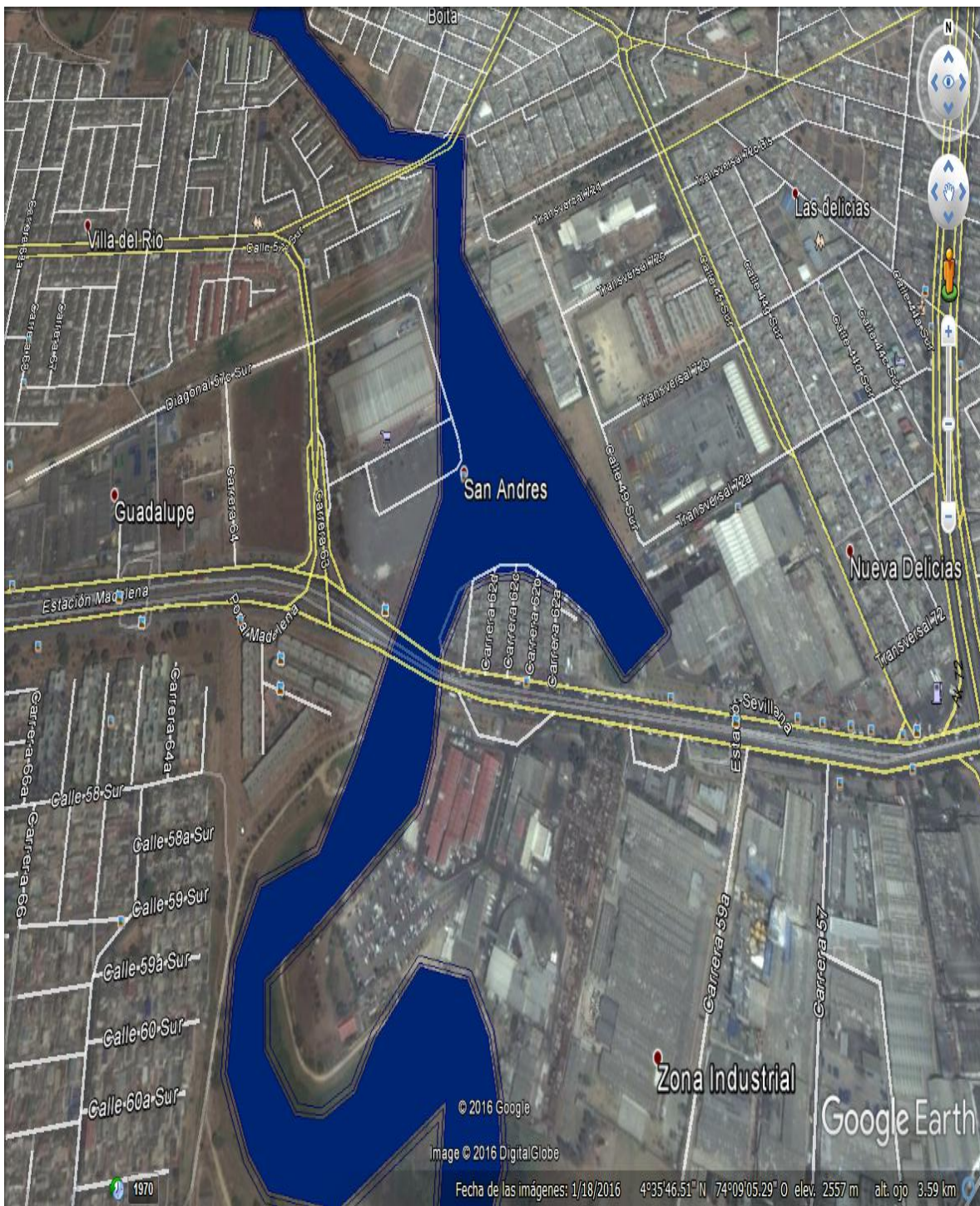
8.4. Cambio en la dispersión del agua desbordada en los tres periodos de retorno.

En esta parte del proyecto se realizaron tres mapas los cuales muestran el alcance del agua en los tres periodos de retorno, se vio la necesidad de hacer un mapa por cada sección de la cuenca (norte, intermedia y sur) con el ánimo de que fuera más evidente el cambio de dispersión de las aguas en cada uno de los periodos y con esto poder evidenciar como iba cambiando el panorama a medida que los años incrementaban.

8.4.1. Comparación del área de inundación a TR 10, 20 y 50 años en la parte norte de la cuenca baja del Río Tunjuelo.

En la siguiente representación es posible conocer como el agua se va acercando cada vez más a las Kr 61 y 62ª, pertenecientes al barrio Madelena, donde es posible precisar que a medida que los años van incrementando la distancia entre el agua desbordada y el comienzo de las carreras tiende a disminuir, como es fácil de evidenciar en la línea roja que es aquella que representa el alcance producido en un periodo de retorno no mayor a 50 años. Junto con esto también fue posible establecer que como se había nombrado en las representaciones anteriores, en la parte que esta más al norte de la cuenca, los predios, carreras y avenidas no tendrán gran afectación, ya que en estos lugares no existe un gran número de construcciones de este tipo, y de otros como urbanizaciones, casas o locales comerciales.

Figura 5. Área de inundación en un TR de 10 años



Fuente: Autor.

8.4.2. Comparación del área de inundación a TR de 10, 20 y 50 años en la parte intermedia de la cuenca baja del Río Tunjuelo.

Figura 6. Área de inundación en un TR de 20 años



Fuente: autor.

Con base en imagen satelital anterior es posible evidenciar como se verán afectadas las construcciones viales de los barrios como Nuevo Muzú y Muzú, los cuales se verán afectados desde un periodo de retorno de 20 años, lo cual se puede observar en la intersección entre la línea de color amarilla que es aquella que representa este escenario y las avenidas nombradas como Kr 62ª y Diagonal 52B S.

Además de esto es posible ver como pasados cincuenta años las aguas desbordadas alcanzaran y sobrepasaran los límites de las cuadras ya mencionadas, a las cuales se le suman la Kr 61H y las diagonales 52 s y 51 s, donde ya el alcance del agua sobrepasa los límites de las mismas.

Figura 7. Área de inundación en un TR de 50 años

Atlanta

Nuevo Muzo

La Coruña

Garrera-51

Google Earth

© 2016 Google

Image © 2016 DigitalGlobe

Fecha de las imágenes: 1/18/2016 4°34'53.32" N 74°08'55.78" O elev. 2556 m alt. ojo 3:59 km

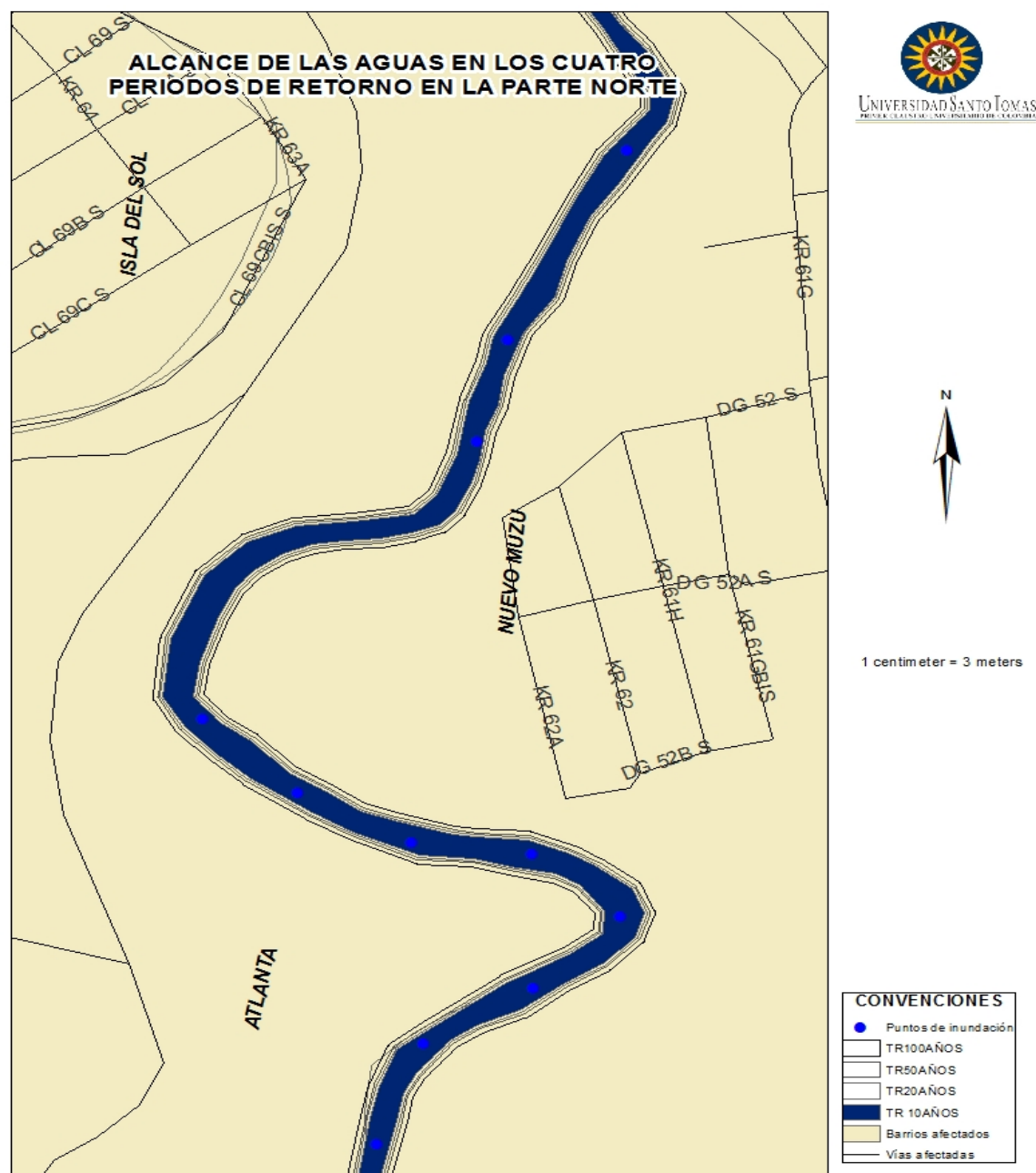
Gracias a la anterior representación es posible evidenciar que en la parte sur de la cuenca baja donde están la mayor cantidad de puntos de posible inundación, en partes como la Kr 62ª y la Diagonal 52 B S en un periodo de retorno de 20 años las aguas estarán afectando de manera directa haciendo presencia en los predios que allí se ubican, y que lo mismo ocurrirá en un periodo de retorno no mayor a 50 años.

55

lores, obstrucción del alcantarillado público y presencia de basuras en zonas no aptas para dicha actividad; fenómenos que tendrían como principal punto de afectación a población que habita o lleva a cabo actividades diarias en estos lugares.

En la siguiente parte del presente documento se demuestra el comportamiento modelando los caudales obtenidos en el año 2015 de la estación Puente Bosa.

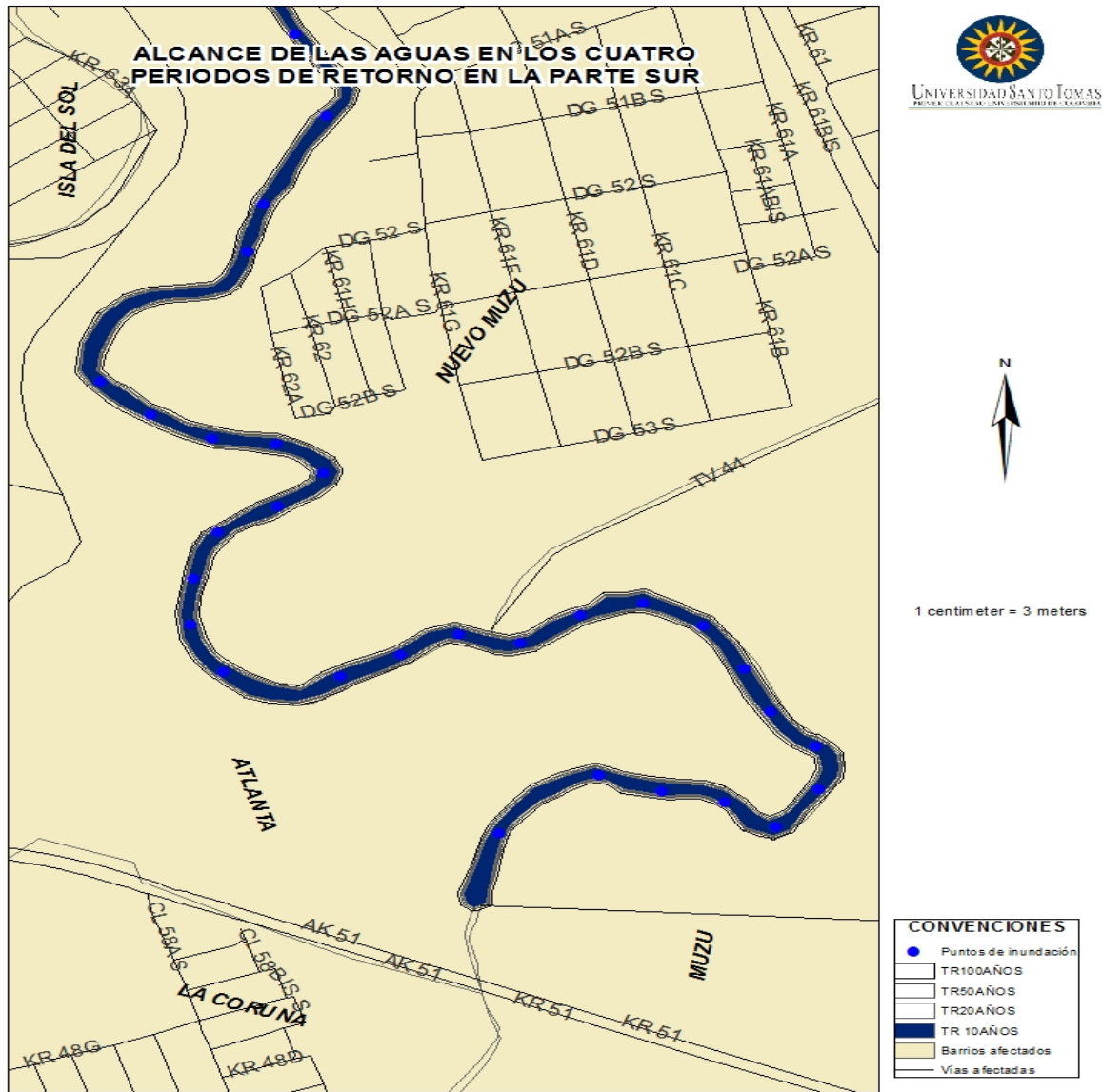
Mapa 7. Alcance de las aguas en los cuatro periodos de retorno con los caudales de la estación Puente Bosa en la zona norte.



Fuente: autor

Con base en los resultados obtenidos en la modelación y en la anterior imagen se pudo evidenciar que el desborde de las aguas en la parte norte de la cuenca no es tan crítico como lo es con los caudales encontrados con los datos del Ideam, puesto que, en estas zonas por más de que se desborden las aguas no existe gran cercanía con las vías y predios de tipo residencial e industrial.

Mapa 8. Alcance de las aguas en los cuatro periodos de retorno con los caudales de la estación Puente Bosa en la zona norte.

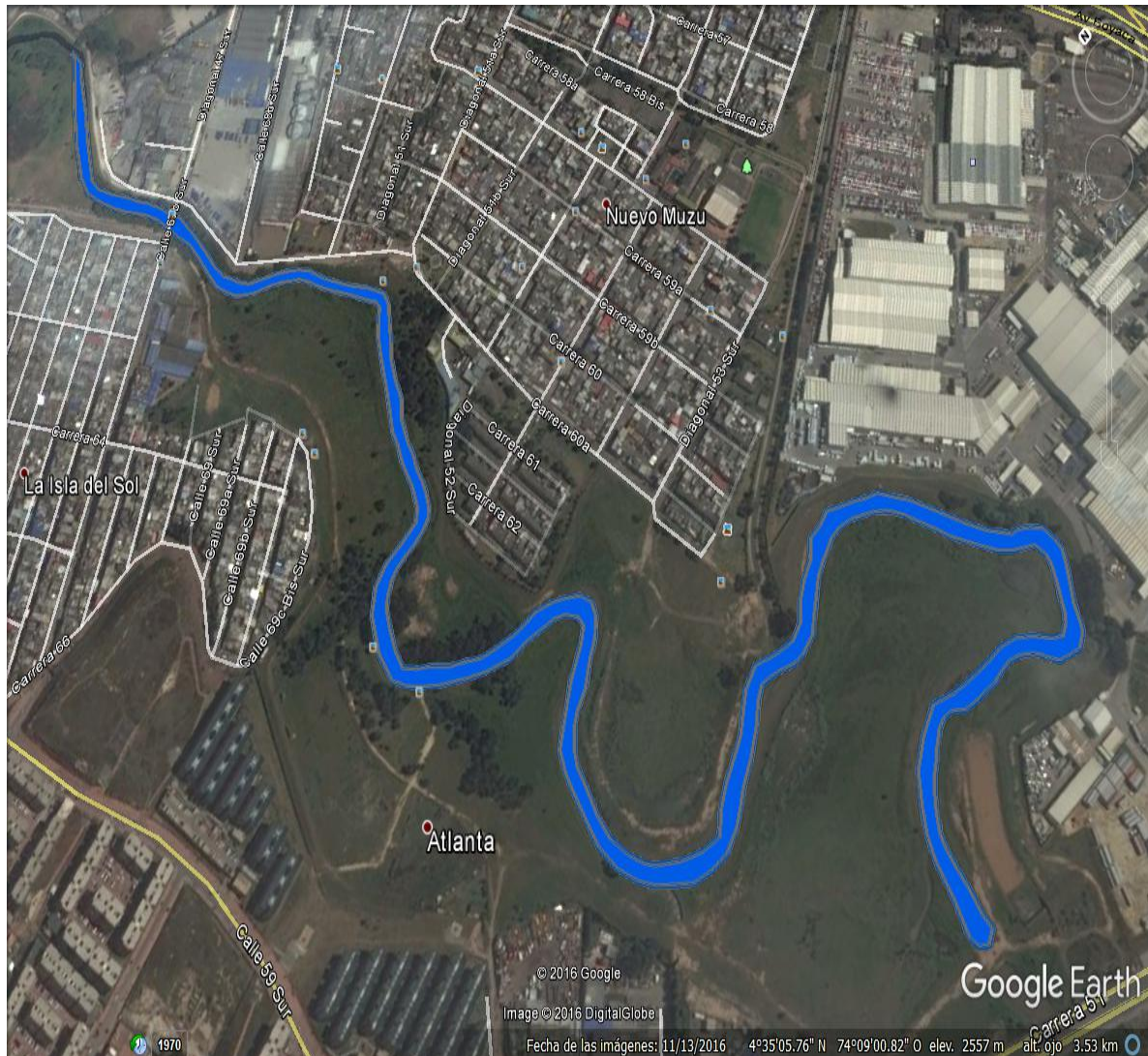


Fuente: autor

En la parte sur se evidencio que en cercanías a la transversal 44 y la diagonal 62 (dirección nueva del barrio Muzú, en un plazo no mayor a 50 años el alcance de las aguas desbordadas estará en una distancia menor o igual a 7 metros como se evidencia en la imagen anterior. En estos lugares el agua alcanzaría una altura mayor a los bancos de modelación por encima de 0.8 metros.

Con esto es posible afirmar que no se presentaran inundaciones en las cuales se vean afectadas de manera directa las edificaciones, vías o cualquier tipo de construcción por lo menos en los periodos de retorno iguales a 10, 20 y 50 años.

Figura 8. Comportamiento de las aguas en los cuatro periodos de retorno



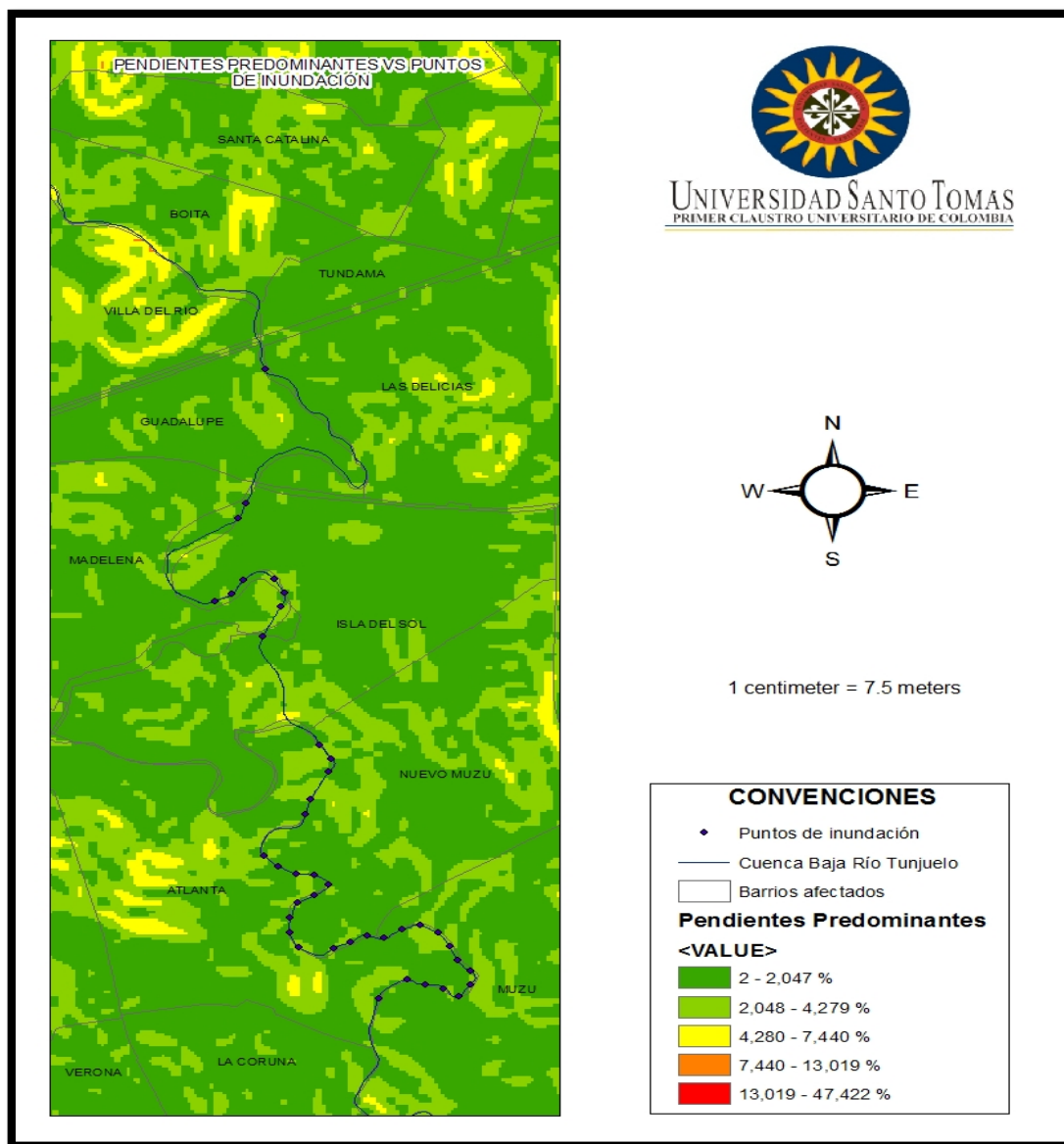
Fuente: Autor.

Para hacer de manera más detectable la manera como se comportarán las aguas en los diferentes periodos de tiempo, se plasmaron los resultados en una imagen satelital con la cual se puede evidenciar que para un periodo de 10, 20 y 50 años el alcance de las aguas no invaden de manera directa las vías ni menos los predios aledaños.

Mientras que en un periodo de 100 años las aguas se comportaran de manera más peligrosa, puesto que, para este periodo de tiempo es posible que las aguas desbordadas si afecten predios y avenidas como la Diagonal 52 Sur.

8.5. Pendientes predominantes en las zonas aledañas a la cuenca baja del Río Tunjuelo.

Mapa 9. Pendientes predominantes en la Cuenca baja del Río Tunjuelo



Fuente: autor.

De acuerdo a las pendientes predominantes las cuales fueron extraídas gracias a las curvas de nivel del DEM propuesto para la cuenca. Se evidenció que en las diferentes zonas de los barrios de principal afectación como Nuevo Muzú, Muzú, La

Coruña y Atlanta donde existen varios puntos de inundación las pendientes no son de un porcentaje alto. Lo cual es de principal beneficio para las poblaciones que habiten dichos lugares, dado que, si el agua se llega a desbordar no será posible que alcance una mayor velocidad y con esto una mayor cantidad de arrastre, escenario que daría como principal resultado la no presencia de basuras y otros contaminantes descartados inadecuadamente en predios aledaños.

Junto con esto fue posible inferir que en zonas con presencia en los barrios Boíta, Villa del Río, Guadalupe, Tundama y las Delicias donde los puntos de inundación no son de gran número, las pendientes predominantes son un poco altas presentando un máximo de 7,440% , escenario del que se puede precisar que en el momento en el que las aguas alcancen su nivel más alto y se rebocen podrán afectar lugares aledaños, debido a las bases proporcionadas por las pendientes, pero que su afectación no será de ardua preocupación ya que los puntos de posible inundación son muy inferiores comparados con los lugares donde existe gran presencia de estos.

9. CONCLUSIONES.

Gracias al uso del software Hidroesta y los datos de caudales registrados en las estaciones escogidas para el desarrollo del modelo, es posible concluir que los caudales para un periodo de retorno igual a 10, 20 y 50 años son de 30 m³/s, 50 m³/s y 70 m³/s respectivamente si se toman los datos de las estaciones propuestas por el Ideam. Mientras que, para un periodo de retorno 10, 20, 50 y 100 años que fueron los años escogidos para modelar los datos de la estación del acueducto fueron de 31,52, 35,92, 40,88 y 40,19 respectivamente.

Con base en el censo obtenido para el año 2016 es posible concluir que en las 5 localidades por la cuales pasa la cuenca baja del río Tunjuelo, viven 3`159.337 personas, de las cuales se afectarían aproximadamente el 10% en caso de que se desborden las aguas en los lugares mencionados.

Fue posible establecer que en la parte de la cuenca con cercanías a la Kr 57 y Kr 60, perteneciente al barrio Isla del Sol hay grandes posibilidades de que en un periodo de retorno de 10 años se presentes desbordamientos del río, con una velocidad de 1m/s.

Es posible afirmar que en el barrio Nuevo Muzú con cercanías a la Ac 68 Sur tiene grandes posibilidades de que en un periodo de retorno de 10 años, las aguas que pasan por estas partes sobrepasen el nivel actual con una velocidad de recorrido igual a 1m/s, y que además de esto en un espacio de más o menos un km la altura de las aguas alcancen una altura de 0.8 metros y una velocidad de recorrido de 0.6m/s.

Con base en los gráficos entregados por el software Hec Ras, fue posible establecer que en las avenidas con cercanías al barrio Atalanta hay grandes posibilidades de que, pasado el primer periodo de retorno, las aguas sobrepasen los niveles actuales con una altura mínima de 0.5m y una velocidad predominante de 0.6 m/s.

Según el modelo desarrollado se puede concluir que en el barrio Nuevo Muzú en un periodo de retorno igual a 20 años, el nivel que pueden tomar las aguas por encima de las actuales es igual a 0.5m y que la velocidad que estas pueden alcanzar sería igual a 1 m/s.

Partiendo de los resultados obtenidos en el modelo fue posible establecer que en la Ac 68 sur con cercanías al barrio Atalanta, las aguas podrían alcanzar una altura máxima por encima de los niveles actuales de 1 metro y que su velocidad predominante sería igual a 0.8m/s, en un periodo de retorno no mayor a 20 años.

Fue posible establecer tomando como base principal el modelo obtenido, que en el Barrio Muzú con cercanías a la Av. Gaitán Cortés, no se presentaran inundaciones si se da un caudal igual al del primer periodo de años, lo cual no será lo mismo para 10 años después, ya que para esta época el nivel del río si subirá 0.4 m con una velocidad igual a 0.8 m/s, y que lo mismo pasara en un periodo de retorno de 50 años, excediendo no solo el nivel del río sino que también la velocidad alcanzada anteriormente.

Según el perfil de inundación localizado en el barrio Madelena en un periodo de retorno de 50 años, las aguas sobrepasaran los niveles actuales en un máximo de 1.5 m con una velocidad de recorrido igual a 0.4m/s.

Gracias a los diferentes resultados obtenidos, fue posible concluir que así la localidad de Tunjuelito se vea afectada por efectos de inundación en un periodo de 10, 20 y 50 años, la población que se verá influenciada es la de menor proporción en comparación con las otras 4 localidades, ya que es en esta parte donde se acentúa la menor cantidad de personas entre mujeres y hombres, para la cual se tiene un valor de 189.522 personas según el censo realizado para el año 2013.

Con la corrida conjunta y el empalme de datos de diferentes fuentes, fue posible concluir que en la localidad de Kennedy es en la localidad donde viven más personas si la comparamos con las demás directamente influenciadas, puesto que, es en esta donde se encuentra un número mayor a 1'100.000 personas, pero que es en estas partes donde menos cantidad de puntos de posible inundación podrían existir en los diferentes periodos de tiempo.

Con base en el empalme entre el mapa de pendientes y los puntos de inundación, es posible concluir que la relación entre estos dos factores es inversamente proporcional, dado que, en las partes donde hay mayores puntos de inundación las pendientes son menos pronunciadas y todo lo contrario ocurre en donde existen pendientes de mayor pronunciación.

Es posible concluir a partir de los mapas donde se relaciona la afectación directa a las vías, que en proporción se verán más afectados los predios dedicados a distintos fines que las vías de tránsito vehicular y peatonal.

Se evidencio con lo obtenido en la modelación de los datos tomados en la estación que esta sobre el cauce de la cuenca baja del río Tunjuelo, que la afectación no sería de tan alto impacto por lo menos en los primeros 50 años. Mientras que en un TR de 100 años la afectación acercaría las aguas desbordadas a una distancia no mayor a 5 metros.

Con la diferencia entre los dos modelos se estableció que partiendo de que exista mayor nivel de confianza en los caudales obtenidos en la estación Puente Bosa no por su calidad sino por la toma directa de los datos, no se presentaran inundaciones de gran afectación si se presentan los caudales encontrados, mientras que si los caudales son los evidenciados en las otras estaciones el escenario podría cambiar de medio a alto.

10. RECOMENDACIONES.

Dado que la mayor parte de los alrededores de la cuenca baja del río Tunjuelo están contruidos, es evidente que estos se verán afectados, puesto que, el nivel que alcanzarían las aguas para Barrios como Madelena y Nuevo Muzú es crítico y junto con esto la velocidad de recorrido de las mismas también, es por eso que sería de vital ayuda que se tomaran en cuenta estudios de esta naturaleza para encaminar esfuerzos los cuales estén enfocados en reubicar parte de la población para que estos no se vean afectados en el peor de los escenarios el cual sería la presencia de caudales de semejante envergadura.

Tomando como base principal los datos arrojados por el modelo, el cual muestra que existirán partes en las cuales las aguas no se rebozaran en un futuro menor a 50 años, es posible realizar estudios para que la mayor parte de la población que se encuentra en lugares de posterior amenaza, puedan ser ubicados en estas.

Es necesario que los ediles encargados de dichos barrios o de la localidad en general, empiecen a requerir datos acerca del cumplimiento o no de la distancia mínima de construcción para con el río, ya que es posible evidenciar que hay lugares en los cuales esta construido a menos de 50 metros, los cuales son predios que en el momento de inundación no será difícil que el agua se apodere del área propia.

Es completamente necesario empezar a promocionar actividades con la población circundante, en donde el principal objetivo sea el de concientizar ambientalmente a los mismos dotándolos de los conocimientos en cuanto a disposición final de residuos, dado que hay tramos en los cuales la velocidad de recorrido del río es igual a 0 m/s, acción que lo único que trae con sigo es generación de vectores y un ambiente hídrico en el cual lo que reina es la contaminación, dado que el oxígeno disponible es diminuto producto de la contaminación.

11. BIBLIOGRAFÍA.

- [1] ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ, «Estudio de la Caracterización climática de Bogotá y cuenca alta del Río Tunjuelo,» Bogotá, 2008.
- [2] ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C., «Instituto Distrital de Gestión del Riesgo y Cambio Climático,» [En línea]. Available: <http://www.idiger.gov.co/inundacion>. [Último acceso: 03 Marzo 2016].
- [3] S. S. ARTURO ELOSEGI, «Conceptos y técnicas en ecología fluvial,» 2009.
- [4] D. M. Ríos, «SCIELO,» Diciembre 2010. [En línea]. Available: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-34022010000300002. [Último acceso: 19 Julio 2016].
- [5] R. A. Umaña, «PROBLÉMÁTICA SOCIO-ECOSISTÉMICA DE LA CUENCA DEL RÍO TUNJUELO,» Bogotá, 2011.
- [6] L. G. E, «EL TIEMPO,» 17 Abril 2005. [En línea]. Available: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-1644802>. [Último acceso: 1 Marzo 2016].
- [7] ALCALDÍA DE BOGOTÁ, «Seis empresas gravilleras fueron selladas por contaminar Río Tunjuelo,» 11 Noviembre 2015. [En línea]. Available: <http://www.bogota.gov.co/article/seis-empresas-gravilleras-fueron-selladas-por-contaminar-r%C3%ADo-tunjuelo>. [Último acceso: 1 Marzo 2016].
- [8] S. L. B. Efraín Domínguez Calle, «Estado del arte de los sistemas de alerta temprana en Colombia,» Bogotá, 2014.
- [9] CONGRESO DE COLOMBIA, «Gestión del riesgo, responsabilidad, principios, definiciones y Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres,» Bogotá, 2012.
- [10] gidahatari, «Los 12 mejores softwares libres en recursos hídricos,» 30 Mayo 2104. [En línea]. Available: <http://gidahatari.com/ih-es/los-10-mejores-sofware-libres-en-recursos-hidricos>. [Último acceso: 2016 03 22].
- [11] Secretaría de Hacienda, Departamento administrativo de planeación, «Diagnostico físico y socioeconómico de las localidades de Bogotá, recorriendo Tunjuelito,» Bogotá, 2014.
- [12] L. M. U. M. María Johanna Constanza Pachón, «PROBLEMÁTICAS SOCIOAMBIENTALES EN LA CUENCA DEL RÍO TUNJUELO: una posibilidad en la enseñanza y el aprendizaje de la geografía,» Rio De Janeiro, 2015.
- [13] S. d. d. ambiente, «DESCRIPCIÓN Y CONTEXTO DE LAS CUENCAS HÍDRICAS DEL DISTRITO CAPITAL (TORCA, SALITRE, FUCHA Y TUNJUELO,» Bogotá, 2015.
- [14] Dirección Distrital para la Prevención y Atención de Emergencias- DPAE, «Diagnóstico de Emergencia,» Bogotá, 2002.
- [15] I. S.A, «Zonificación de riesgos por inundación en las localidades de Tunjuelito y Ciudad Bolívar,» Bogotá, 2000.

- [16] CREPAD, «Consolidados sobre eventos de desbordamientos e inundaciones,» Bogota, 2013.
- [17] IDEAM, Alcaldia mayor de Bogota, «Estudio de la caracterizacion climatica de la cuenca del rio Tunjuelo,» Bogota, 2010.
- [18] C. A. Regional, «Archivos de Información Climatológica y Meteorológica,» Bogota, 2015.
- [19] J. A. M. A. Jesús Gracia Sanchez, «MORFOLOGÍA DE RIOS,» 2000.
- [20] MINSA- Oficina general de defensa nacional, «Guía para la protección de establecimientos de salud ante desastres naturales.,» 2008.
- [21] H. P. Torrealba, «Desastres de origen hidrológico,» Santiago, 1986.
- [22] CENAPRED, «Inundaciones,» Juárez, 2009.
- [23] FINNIG, «HIDRÁULICA,» 2003.
- [24] J. L. C. Aguirre, «IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO HEC-RAS PARA ESTUDIOS DE PROCESOS DE FLUJO EN EL PROYECTO HIDROELÉCTRICO MINAS SAN FRANCISCO,» CUENCA, 2013.
- [25] K. M. A. HAMAD, «Aplicaciones del modelo Hec-Ras para el análisis del flujo no permanente con superficie libre.,» Quito, 2008.
- [26] H. M. Grainger, «Modelación hidráulica e hidrológica del rio Gúapiles para determinar la vulnerabilidad a inundaciones en un tramo comprendido entre los poblados Guápiles y la Rita.,» San Pedro de Montes de Oca, 2006.
- [27] civilgeeks.com, «PROGRAMA PARA CÁLCULOS HIDROLÓGICOS: HIDROESTA,» [En línea]. Available: <http://civilgeeks.com/2012/08/10/programa-para-calculos-hidrologicos-hidroesta/>. [Último acceso: 11 Julio 2016].
- [28] J. J. Q. CASTRO, «DIAGNÓSTICO DE LA GESTIÓN INTEGRAL DEL RIESGO POR INUNDACIONES Y AVENIDAS TORRENCIALES EN RÍOS URBANOS DEL DEPARTAMENTO DE CALDAS,» Manizales, 2013.
- [29] ArcGis Resources, «¿Qué es ArcGis?,» [En línea]. Available: <http://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n00000014000000.htm>. [Último acceso: 11 Julio 2016].
- [30] J. L. & I. Lejarza., «DISTRIBUCIÓN NORMAL,» 2005.
- [31] L. E. v. Hernandez, «CAPITULO 3: DEFINICIONES Y SISTEMAS DE MEDICIÓN.,» 2003.
- [32] CENAPRED, «Inundación,» 2014.
- [33] r. Pizaro, «La vulnerabilidad social y sus desafios: una mirada desde America Latina,» 2003.
- [34] SIAPA, «ALCANTARILLADO PLUVIAL,» 2014.
- [35] E. Becoña, «RESILIENCIA: DEFENICIÓN, CARACTERÍSTICAS Y UTILIDAD DEL CONCEPTO.,» Galicia, 2006.
- [36] Felipea, «Gestión del riesgo,» 2008.
- [37] HIDROESTA. [En línea].

- [38] Instituto Geográfico "Agustín Codazzi", «Plioceno y cuaternario del altiplano de Bogotá y sus alrededores,» IGAC, Bogotá, 1995.
- [39] M. S. Antonio Flores, «Génesis y Manifestación de las Inundaciones en Colombia,» Bogotá, UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, 1997, pp. 60-110.
- [40] Alcaldía Mayor de Bogotá, «Diagnostico de los aspectos fisicos,demograficos y socioeconomicos, Localidad de Tunjuelito,» Bogota, 2009.
- [41] Alcaldía mayor de Bogotá, «Diagnostico local con participacion social, localidad de Tunjuelito,» Bogota, 2010.
- [42] Alcaldía mayor de Bogotá, «Caracterizacion socioeconomica de Bogotá,» Bogota, 2013.
- [43] Alcaldía mayor de Bogotá, «Agenda Ambienta, Localidad 6 Tunjuelito,» Bogota, 2010.
- [44] FOPAE, «Informe general de la localidad Tunjuelito,» Bogota, 2008.
- [45] C. Mendoza, «). Riesgos Ambientales de Origen Natural en Tunjuelito,» Bogota, 2002.
- [46] IDEAM, «ATlas climatologico de Colombia,» Bogota , 2005.
- [47] HEC RAS, [En línea].

