

IMPLEMENTACIÓN DE MODELACIÓN HIDRÁULICA CON FINES DE PRONÓSTICO  
HIDROLÓGICO

WILLIAM CAMILO CAMARGO OSORIO

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
BOGOTÁ  
2016

IMPLEMENTACIÓN DE MODELACIÓN HIDRÁULICA CON FINES DE PRONÓSTICO  
HIDROLÓGICO

WILLIAM CAMILO CAMARGO OSORIO

Trabajo de grado

Tutor de grado: Ing. Hebert Gonzalo Rivera Ph.D.

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
BOGOTÁ  
2016

## **DEDICATORIA**

A mi familia porque gracias a ellos he podido llegar a donde estoy y aún me dan su apoyo incondicional, a los docentes que aparte de enseñar su asignatura también aportan a la buena ética ingenieril para formar íntegros profesionales y a mis compañeros de carrera que fueron parte de mi desarrollo como profesional.

WILLIAM CAMILO CAMARGO OSORIO

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi familia por ser quienes me apoyaron en toda la carrera y aún siguen haciéndolo, guiándome con sabias palabras que solo ellos las saben dar.

A los docentes quienes me han brindado su conocimiento y experiencia, haciendo de las clases un momento mucho más agradable y enriquecedor.

A la Universidad Militar Nueva Granada por brindarme su espacio y herramientas educativas para mi formación.

Al ingeniero Hebert Gonzalo Rivera, tutor de grado, que con sus vastos conocimientos en la ingeniería me enseñó y guió en este trabajo.

WILLIAM CAMILO CAMARGO OSORIO

## Tabla de contenido

Listado de tabas .....	7
Listado de Imágenes .....	8
Resumen .....	9
Palabras Clave .....	9
Introducción .....	10
Objetivos .....	11
Objetivo General .....	11
Objetivos específicos .....	11
Territorio .....	12
Propuesta .....	13
Problemática .....	13
Escenario y/o territorio .....	13
Actores involucrados .....	13
Aspectos de ingeniería civil asociados a la problemática .....	14
Propuesta a desarrollar .....	14
Problema de investigación .....	14
Estado del arte .....	19
Problemáticas del recurso del agua .....	19
Inundaciones .....	19
Pronóstico hidrológico .....	20
Modelación hidrológica .....	21
Sistemas de Información Geográfica .....	22
Softwares a utilizar .....	23
HEC-RAS .....	24

ARCGIS .....	24
Resultados .....	24
Conclusiones.....	32
ANEXOS .....	33
Bibliografía .....	34

## Listado de tabas

Tabla 1. Propuesta. Fuente: W.Camargo, 2015 .....	13
Tabla 2. Características hidrológicas de las cuencas. Fuente. POMCA Río Bogotá, 2006 .....	33

## Listado de Imágenes

Imagen 1. Ubicación de la zona de interés del Río Bogotá. Fuente. IGAC, 2015	12
Imagen 2. Años de niño y niña para tomar en cuenta en el estudio. Fuente: WMO, 2009, Elaborado a partir de NOAA (2009)	17
Imagen 3. Esquema del proceso de inundación en la zona de la ronda hídrica de la cuenca media alta del río Bogotá.. Fuente. W.Camargo, 2015	18
Imagen 4. Capturas de pantalla de Softwares SIG. Fuente. IDEAM. 2014	22
Imagen 5. Condiciones iniciales de los perfiles y la lámina de agua. Fuente. W. Camargo, 2015. Elaborado a partir de HEC-RAS. 4.1.0	25
Imagen 6. Vista en 3D de múltiples secciones. Fuente. W. Camargo, 2015. Elaborado a partir HEC-RAS 4.1.0	25
Imagen 7. Primera y última sección transversal en estudio aguas arriba con el nivel inicial. Fuente. W. Camargo, 2015, Elaborado a partir de HEC-RAS 4.1.0	26
Imagen 8. Estaciones climatológicas e hidrológicas activas cercanas al territorio de estudio. Fuente. W.Camargo, 2015. Elaborado a partir de HEC-RAS 4.1.0 y ARCGIS 10.3	27
Imagen 9. Ubicación de las secciones transversales sobre el territorio. Fuente. W. Camargo, 2015. Elaborado a partir de ARCGIS 10.3	28
Imagen 10. Perspectiva X-Y-Z inicial del primer kilómetro de aguas arriba hacia aguas abajo. Fuente. W.Camargo, 2015. Elaborado a partir de HEC-RAS 4.1.0	28
Imagen 11. Perspectiva X-Y-Z inicial de los últimos 7 Kilómetros de aguas arriba hacia aguas abajo. Fuente. W. Camargo, 2015. Elaborado a partir de HEC-RAS 4.1.0	29
Imagen 12. Perspectiva X-Y-Z del río al norte del municipio de Tocancipá. Fuente. W. Camargo, 2015. Elaborado a partir de HEC-RAS 4.1.0	30
Imagen 13. Perspectiva X-Y-Z del río al oriente del municipio de Cajicá. Elaborado a partir de HEC-RAS 4.1.0	31
Imagen 14. Perspectiva X-Y-Z del río al oriente de la zona urbana de Chía. 106200 – 85900. Fuente. W. Camargo, 2015. Elaborado a partir de HEC-RAS 4.1.0	32
Imagen 15. Cuenca hidrográfica Río Bogotá y zona de estudio. Fuente. POMCA Río Bogotá, 2006	33

## Resumen

Hasta el día de hoy se tienen muy pocas modelaciones de los ríos en Colombia, se cuenta con modelaciones en régimen permanente que hacen que los resultados sean incompletos o no muy confiables, hacen parte de grandes esfuerzos por muchos profesionales pero en cuanto a pronósticos siempre será necesario hacer más puesto que en un desafortunado caso de llegar al peor de los escenarios podrían darse muchas pérdidas económicas y en el peor de los casos perderse vidas.

Este podría ser uno de tantos estudios para el Río Bogotá pero a partir de este trabajo se espera que muchos vean la importancia y factibilidad de realizar estos estudios y sean aplicados en otros ríos en Colombia. La modelación mostrará puntos de inundación en la zona de estudio pero se puede ahondar más en estudios.

**Palabras Clave:** Modelación, pronóstico, caudal, Río Bogotá, Bogotá, Colombia.

## Introducción

La investigación desarrollada con ayuda de profesionales y datos prestados por la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) muestra la posibilidad de modelación hidráulica de un gran cuerpo hídrico, teniendo en cuenta el cambio de caudales en un largo periodo de tiempo, utilizando caudales horarios durante 6 meses; los primeros 6 meses del año 2011, donde se incluyen los meses de Abril y Mayo, época de mayor precipitación del año. Se escogieron estos meses debido a los estragos causados en el año nombrado.

En los periodos de alta humedad, consecuencia del fenómeno de la niña en Colombia (Se debe tener en cuenta que en Colombia el fenómeno de la niña es época de altas precipitaciones a diferencia de algunos países), se tienen problemas sociales debido a que muchas personas se establecen dentro de los límites de inundación de los cuerpos hídricos, esto debido a una falta de control de las autoridades y falta de información por no tener suficientes estudios hídricos en el país.

Los resultados obtenidos sugieren que en caso de presentarse un periodo húmedo en un año niña igual o más fuerte que el dado en el año 2011 podrían presentarse de nuevo estragos en las zonas resultantes.

## Objetivos

### Objetivo General

El objetivo del trabajo es modelar los aspectos hidrológicos e hidráulicos de los eventos de inundación en el río Bogotá en el sector comprendido entre los municipios Tocancipá y Chía, en el año 2011.

### Objetivos específicos

- Modelar el cauce de la cuenca media del Río Bogotá con las secciones transversales de este dadas por la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR
- Agregar los datos de caudales y niveles diarios de 6 meses al sector en la entrada y salida
- Crear el plan de flujo no permanente con los dos puntos anteriores para encontrar finalmente los puntos de inundación.

## Territorio

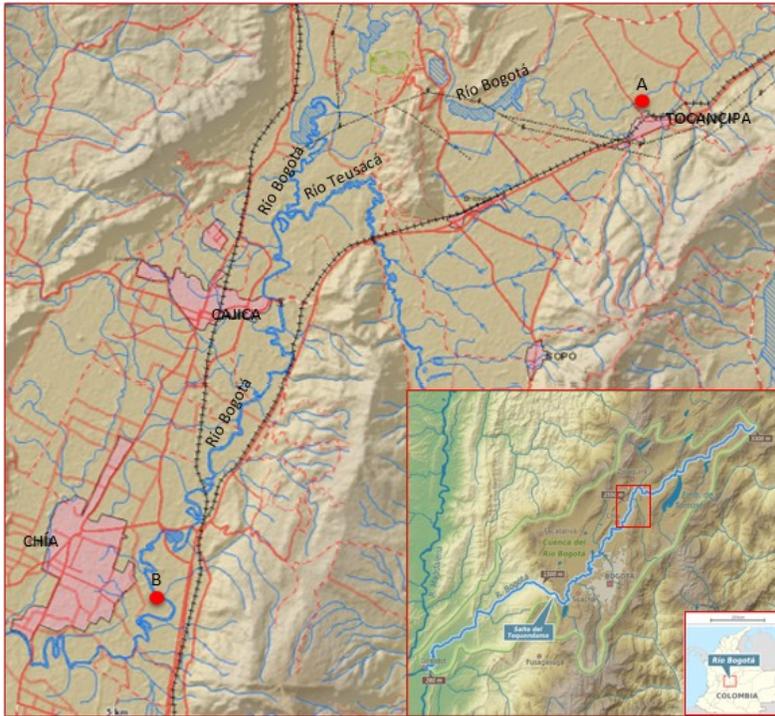


Imagen 1. Ubicación de la zona de interés del Río Bogotá. Fuente. IGAC, 2015

Se cuenta con la cuenca media alta del río Bogotá en el sector entre los municipios de Tocancipá “A” (Aguas arriba) y Chía “B” (Aguas abajo), ambos en el departamento de Cundinamarca. Se presentan inundaciones en los periodos húmedos<sup>1</sup> del año, uno de los más claros y grandes ejemplos sucedió en el año 2011 en este mismo territorio, donde los niveles del río llegaron a magnitudes alarmantes. Se espera modelar este sector del río Bogotá y encontrar el periodo de retorno de una posible inundación a gran escala junto con los puntos de inundación para poder determinar una mejor ronda hídrica.

---

<sup>1</sup> Colombia, al ser un país bimodal maneja dos épocas, de lluvia y de sequía, correctamente llamadas periodos húmedo y seco respectivamente.

## Propuesta

Tabla 1. Propuesta. Fuente: W.Camargo, 2015

Problemática	Escenario y/o Territorio	Actores Involucrados	Aspectos de Ingeniería Civil asociados a la Problemática	Propuesta a desarrollar
<b>Inundación por ocupación de la ronda hidráulica.</b>	Entre los municipios de Tocancipá y Chía. (23 Km)	Población habitante dentro de la ronda hidráulica en los municipios de Tocancipá, Cajicá y Chía, sector agrícola e industrial.	Inundaciones en épocas de alta precipitación en zonas urbanas y rurales, ocupación de la ronda hidráulica por falta de planeación.	Modelación de posibles puntos de inundación con caudales dados en la época de mayores crecientes del año 2011

**Problemática.** En las épocas de alta precipitación, sobre todo entre los meses de abril a mayo y octubre a noviembre se presentan inundaciones, generando enormes pérdidas económicas por quienes ocupan espacios inundables de esta zona del río Bogotá, lugares donde no debería haber actividad constructiva, industrial o agropecuaria. Se muestra en los anexos la tabla 2, donde se puede apreciar el precipitado cambio en el caudal en periodos húmedos frente a los periodos secos.

**Escenario y/o territorio.** El territorio en estudio se encuentra delimitado por la zona norte del municipio Tocancipá en donde pasa el río Bogotá y sigue este último hasta la zona oriental del municipio Chía pasando por el municipio de Tocancipá, además, existe un efluente, el cual es el río Teusacá, visto en la figura 1, además pasan algunas quebradas que se agregarán al estudio junto con la precipitación para tener la entrada de caudal en la zona.

**Actores involucrados.** Parte de la población de los 3 municipios mencionados anteriormente se encuentra residiendo dentro de la zona inundable del río Bogotá, además del sector agrario, pecuario e industrial que se tiene en gran número, por esto se presenta la problemática.

**Aspectos de ingeniería civil asociados a la problemática.** Se generan inundaciones en épocas de alta precipitación por la ocupación de la ronda hidráulica por parte de los habitantes, los niveles de agua del río Bogotá suben de manera precipitada en poco tiempo, dando pocas posibilidades de reacción en los lugares ocupados dónde no se deberían encontrar. “Para la amenaza por inundación se tiene en cuenta el estudio de hidrología e hidráulica, donde se determinan los niveles de agua para diferentes periodos de retorno, la zona de amenaza alta está dada por el nivel correspondiente al periodo de retorno de 100 años, la amenaza media está dada por una franja paralela al límite de la zona de amenaza alta que dependiendo de la legislación que se aplique puede tener 1.5 m en Bogotá<sup>2</sup> o más, la zona de amenaza alta más la zona de amenaza media en el caso del presente estudio se define como zona de ronda.” (POMCA Río Bogotá, 2006)

**Propuesta a desarrollar.** Se modelará el posible escenario de inundación más crítico en la zona de estudio para encontrar los puntos de inundación del sector; esto con datos de niveles, precipitación y secciones aportados por la CAR y el IDEAM aplicados en software de modelación.

### Problema de investigación

El presente proyecto está encauzado en la problemática de las inundaciones que surgen por un aumento del nivel del agua en el río en cuestión y la ocupación de las zonas inundables que este naturalmente tiene, ocupadas por vivienda, industria y cultivos. Esta crecida de nivel nombrado anteriormente se da por el aumento súbito de las precipitaciones aguas arriba del territorio en estudio, a veces desde el nacimiento del cuerpo hídrico.

En Colombia desde 1900 se han construido cerca de 2.200 puentes, más de 15.000 kilómetros de vía terrestre, parte de los cuales cada año se someten a reparaciones por problemas relacionados con el agua, cerca de 600 municipios han experimentado inundaciones locales, el desabastecimiento de agua, las pérdidas

---

<sup>2</sup> Alcaldía Mayor de Bogotá, decreto 1106 del 31 de Julio de 1986.

de cultivos y la proliferación de enfermedades de origen hídrico ocurren tanto en épocas de crecidas como de sequías hidrológicas. (IDEAM, 2008)

De acuerdo con el CONPES 3146 (2001), en Colombia se han visto afectadas más de cuatro millones de personas por desastres naturales en el período comprendido entre 1993 y 2000, la mayoría (77%) por inundaciones y sismos (12%), y de acuerdo con la CAF los daños en Colombia por El Niño de 1997-1998 caracterizado por sequías en gran parte del país ascendieron a 564 millones de dólares; siendo una debilidad nacional la ausencia de estudios sistemáticos sobre pérdidas económicas asociadas a eventos menores de alta recurrencia, como inundaciones y deslizamientos localizados. Además, la Dirección General para la Atención y Prevención de Desastres (2002) determinó que en Colombia ocurre un desastre de origen natural de impacto nacional aproximadamente cada 4 o 5 años. Como se puede apreciar, las inundaciones y las sequías afligen de manera significativa a la sociedad y causan grandes pérdidas en la producción agrícola, energética, infraestructura, maquinarias y viviendas, que suelen opacar los resultados benéficos para la sociedad y naturaleza de las crecidas, desbordamientos y periodos de estiaje como son el enriquecimiento en minerales de las tierras, mantenimiento de ciclos naturales de reproducción de especies, mantenimiento del ciclo natural de liberación de energía y el transporte natural de sedimentos. (IDEAM, 2008)

En 1979, La Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) realizó obras de mitigación que correspondían al mejoramiento de los jarillones en ambas márgenes del río Bogotá y la ampliación de su cauce. Es de anotar que la CAR adoptó los diseños de protección contra eventos hidrológicos que tenía período de retorno apenas de 25 años acogiendo al Acuerdo No. 33 de 1979 sobre uso del suelo, donde se establece que las márgenes del río en la zona de la ciudad deberán tener solamente uso agropecuario.

Las obras hechas por la CAR no se ajustaron exactamente a los diseños, y como consecuencia, los niveles de protección conseguidos después de la ejecución de las obras fueron menores a los que se tenían proyectados y que corresponde a

crecientes con períodos de retorno menores de 1 en 10 años (Estudio del Plan Maestro de Alcantarillado realizado para la EAAB en 1985). (IDIGER, s.f.)

Las áreas que no están registradas como de infraestructura de servicios y saneamiento básico entre los usos, se encuentran los embalses del Neusa (70 ha) y Sisga (512 ha), siendo el primero fuente de abastecimiento para consumo humano, en el acueducto Cogua-Zipaquirá, suplen un porcentaje de la demanda en la planta Tibitoc y cumplen la función de controlar las inundaciones en la Sabana de Bogotá, mediante el control de los caudales máximos en la cuenca del río Neusa y regularlos durante la temporada seca. (CAR, Minambiente, Instituto Humboldt, 2013)

En Julio de 2008. La Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR, alertó a los pobladores ribereños del río Teusacá en el Valle del Sopó (Sopó), y de los municipios de la Cuenca Media del río Bogotá (Chía, Cota, Funza, Soacha y Mosquera), donde hay riesgo de inundaciones por aumentado considerable de los niveles, a consecuencia de las intensas y persistentes lluvias que han caído sobre estas zonas durante las últimas horas, en este mismo año, en Noviembre, como consecuencia de las constantes lluvias durante las últimas 24 horas sobre la Sabana de Bogotá, los niveles en el río Bogotá se mantuvieron con tendencia al aumento, especialmente a la altura de los municipios de Tocancipá, Gachancipá, Zipaquirá, Chía, Funza y Mosquera.

Las inundaciones en la cuenca alta del río Bogotá se presentan en los periodos húmedos del año y se agrava cuando se despliega el fenómeno de la niña<sup>3</sup> en Colombia, este último factor ha causado uno de los peores desastres naturales en la historia en la cuenca del río Bogotá en el año 2011, dejando pérdidas humanas como lesiones o muerte, pérdidas masivas de cultivos y ganado y daños a infraestructuras (IDEAM, 2008). Dichos daños han sido causados por la ocupación de la zona inundable del río, por falta de control de las autoridades en casos extremos y en la mayoría de las veces por falta de una más precisa delimitación de

---

<sup>3</sup> Fenómeno de variabilidad climática oceánica que al bajar las temperaturas crea periodos húmedos de gran intensidad en Colombia. Nota: En otros países pueden presentarse periodos de sequía.

este territorio que originalmente no debería estar ocupado, luego de esto, en el presente año en el mes de Junio de nuevo se presentaron inundaciones en Chocontá, Suesca y Sesquilé siendo estos los lugares más afectados por las fuertes lluvias, que hasta la finalización de Junio dejaron 450 hectáreas bajo el agua (CAR, 2015). A continuación, en el gráfico 1 se presentan los años niña en Colombia desde 1970 hasta 2008.

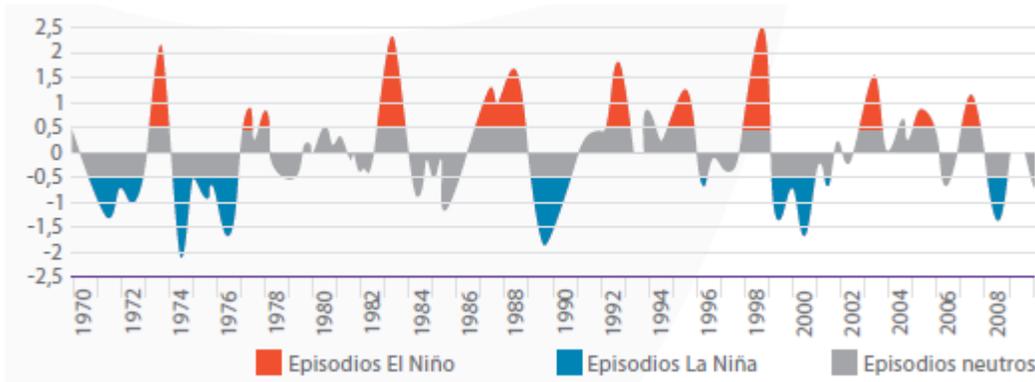


Imagen 2. Años de niño y niña para tomar en cuenta en el estudio. Fuente: WMO, 2009, Elaborado a partir de NOAA (2009)

En el año 2011, mes de Mayo, donde se presentaron los mayores caudales registrados hasta el momento (H. Hernández, 2015), el Río Bogotá agotó su capacidad para almacenar la cantidad de agua que cae por la temporada invernal y el fenómeno de la Niña. Según expertos, el afluente tiene memoria y reclamó terrenos de la Sabana de Bogotá que fueron suyos. Las impresionantes imágenes de las inundaciones en la sabana por cuenta del desbordamiento del río Bogotá evidencian la magnitud de una emergencia que no aparece en los registros de los últimos 67 años. Diez municipios de Cundinamarca quedaron en alerta roja ante la creciente que se desató en el páramo de Guacheneque, donde nace el río. El inusual aguacero de ocho horas continuas la noche del viernes 13 de mayo en el páramo de Guacheneque (que alcanzó los 54 milímetros cuando lo normal es 30) desató la creciente súbita que en algunas zonas elevó el cauce del río hasta los 4.42 metros, “un valor histórico muy alto”, según el IDEAM. (Revista Semana, 2011).

Por la cercanía de las vías que conectan a la capital del país por el norte con el río Bogotá se presentan además problemas de tránsito y transporte terrestre, ya que los niveles llegan al punto de tapan la vía por completo e impedir la libre circulación sobre esta, pues “hace 30 mil años, la Sabana de Bogotá era un gran sistema acuático compuesto por lagos, pantanos y humedales. Una superficie de suelo que por su apariencia plana y encharcada empezó a ser desecada por el hombre. Desde entonces se generó el problema que hoy agobia a la ciudad”, explica el director del Instituto de Estudios Urbanos (IEU) de la Universidad Nacional, Gerardo Ardila (Borrález, 2011). El mayor problema causado en el transporte por dicha inundación fue el bloqueo completo de la vía Chía – Bogotá.



*Imagen 3. Esquema del proceso de inundación en la zona de la ronda hídrica de la cuenca media alta del río Bogotá.. Fuente. W.Camargo, 2015*

Un evento de gran importancia con las inundaciones causadas por el Río Bogotá ocurrió a finales del mes de abril del año 2011, donde la súbita crecida de niveles dejó bajo el agua cerca del 90% de las instalaciones de la Universidad de la Sabana después de la ruptura de uno de los jarillones que contenía su cauce, esto provocó la suspensión indefinida de clases de cerca de 8500 alumnos. Unos meses después, finalizando noviembre, precipitaciones de gran medida provocaron de nuevo el desbordamiento del Río, inundando cerca de 80 hectáreas de fincas y un colegio, además, a punto de inundar de nuevo la autopista norte (Caracol Radio, 2011).

## Estado del arte

### Problemáticas del recurso del agua

En los últimos años, la comunidad colombiana ha visto la manera como en forma alarmante han aumentado los problemas del recurso del agua, concebidos estos como casos extremos que ocasionan daños materiales, ecológicos, sociales y económicos y que por afectar a concentraciones cada vez mayores de población tienden a ser más destructivos. Dicha problemática se enmarca principalmente en los desastres naturales de origen hidrometeorológico (Marin, 1992).

Hoy los efectos de los fenómenos naturales deben ser enfocados no solo desde el punto de vista humanitario y social sino también y primordialmente desde el punto de vista económico, puesto que ellos constituyen un formidable obstáculo para el desarrollo económico y social del país y pueden provocar una reducción del producto nacional bruto que anule prácticamente todo progreso económico real (Marin, 1992).

Muchas regiones de Colombia están expuestas a desastres naturales originados o relacionados con el agua. Existen grandes superficies que sufren de aguda falta de agua y otras no menos importantes que periódicamente se ven perjudicadas por el exceso de esta, bien sea en la forma de inundaciones, o en la forma de tormentas tropicales (Marin, 1992).

### Inundaciones

Las inundaciones son fenómenos hidrológicos recurrentes potencialmente destructivos, que hacen parte de la dinámica de evolución de una corriente. Se producen por lluvias persistentes y generalizadas que generan un aumento progresivo del nivel de las aguas contenidas dentro de un cauce superando la altura de las orillas naturales o artificiales, ocasionando un desbordamiento y dispersión

de las aguas sobre las llanuras de inundación y zonas aledañas a los cursos de agua normalmente no sumergidas.

En la clasificación más sencilla se pueden identificar dos tipos: Inundaciones lentas, que son las que ocurren en las zonas planas de los ríos y con valles aluviales extensos, los incrementos de nivel diario son de apenas del orden de centímetros que reportan afectaciones de grandes extensiones, pero usualmente pocas pérdidas de vidas humanas, el tiempo de afectación puede fácilmente llegar a ser del orden de meses, en Colombia el ejemplo más claro es la región de la Mojana.

El otro tipo de inundación es las llamadas crecientes súbitas, que aunque las áreas de afectación son menores, el poder destructivo es potencialmente mayor y cobra el mayor número de vidas cuando se presentan, responden rápidamente a la ocurrencia de fuertes precipitaciones en las partes altas de las cuencas, los incrementos de nivel son del orden de metros en pocas horas, y el tiempo de permanencia de estas inundaciones en las zonas afectadas son igualmente de horas o pocos días, estas se presentan en todas las cuencas de alta pendiente de la región Andina principalmente (IDEAM, 2011).

Es importante recalcar que las inundaciones y sequías hidrológicas son fenómenos que pueden afectar seriamente a la sociedad y su dinámica de desarrollo; para que se presente una inundación se requiere una crecida de los niveles del agua, el consecuente desbordamiento de estos y la ocupación de la zona de inundación. No toda crecida termina en inundación (IDEAM, 2008).

### Pronóstico hidrológico

Cabe señalar que el éxito del desarrollo de pronósticos hidrológicos para prever adecuadamente desbordamientos, inundaciones y sequías hidrológicas radica en la efectividad del desempeño público, siendo determinante factores como los medios con que interpretamos la realidad (ambiental, social, económica), la tecnología en máquinas para correr los modelos con que se interpreta la dinámica de los procesos hidrológicos y tener los recursos económicos suficientes (IDEAM, 2007).

El objetivo principal del pronóstico y monitoreo hidrológico, es informar y alertar con suficiente tiempo de antelación a las autoridades ambientales y población en general sobre el comportamiento de los principales cuerpos de agua del país y la probabilidad de ocurrencia de eventos extremos. Este seguimiento se encuentra en el Informe Hidrológico Diario que se publica en la página Web de la institución. (IDEAM, 2014)

La subdirección de Hidrología del IDEAM, monitorea de forma continua (24 horas del día, los 365 del año) el comportamiento hidrológico de los principales ríos del país: cuenca Magdalena - Cauca, Atrato, Sinú, San Jorge, Meta, Arauca, Amazonas, Patía, Mira, Inírida, Orinoco, etc. Para ello el IDEAM cuenta con cerca de 100 estaciones hidrológicas con reporte de datos en tiempo real, es decir que transmiten cada hora el comportamiento del nivel de los ríos. De igual manera cuenta con información complementaria de otras 100 estaciones hidrológicas convencionales cuyo intervalo de transmisión de datos es cada 12 horas. Actualmente, se cuenta también con una herramienta de pronóstico denominada FEWS - Flood Early Warning System (Sistema de Alertas Tempranas) (IDEAM, 2014). Esta herramienta FEWS a la fecha aún se encuentra en desarrollo, y en conjunto con la CAR se está empezando a implementar la cuenca del río Bogotá, actualmente sólo se ha implementado parte de la cuenca alta de este.

### Modelación hidrológica

La modelación hidrológica es una herramienta de gran importancia para el estudio de avenidas que se ha extendido por todo el mundo, fundamentalmente en países desarrollados. En la actualidad, con el empleo de estos modelos, se realiza el análisis y la prevención de las inundaciones; además, es posible manejar hipótesis suficientemente realistas o previsibles que ofrezcan un cierto grado de confianza para la toma de decisiones, ya sea en la ordenación del territorio en torno a los ríos o para exigir criterios de diseño de obras e infraestructuras capaces de soportar y funcionar adecuadamente en situaciones de emergencia. Incluso, alertar a los servicios de protección civil y establecer protocolos de actuación ante posibles situaciones de peligro por intensas lluvias (Dueñas, 1997).

Un modelo hidrológico es pues una representación simplificada de un sistema real complejo llamado prototipo, bajo forma física o matemática. De manera matemática, el sistema real está representado por una expresión analítica.

En un modelo hidrológico, el sistema físico real que generalmente representamos es la 'cuenca hidrográfica' y cada uno de los componentes del ciclo hidrológico. De esta manera un modelo matemático nos ayudará a tomar decisiones en materia de hidrología, por lo que es necesario tener conocimiento de entradas (inputs) al sistema y salidas (outputs) a partir del sistema, para verificar si el modelo es representativo del prototipo.

La salida de los modelos hidrológicos varía - dependiendo de las metas y objetivos del modelo. Algunos modelos se utilizan para predecir los totales mensuales de escorrentía, mientras que otros están diseñados para ver a las tormentas individuales. El resultado más común es el hidrograma (IDEAM, 2014).

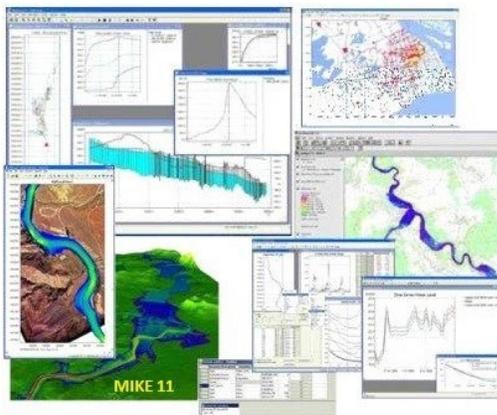


Imagen 4. Capturas de pantalla de Softwares SIG. Fuente. IDEAM. 2014

## Sistemas de Información Geográfica

Un Sistema de Información Geográfico (SIG) permite relacionar cualquier tipo de dato con una localización geográfica. Esto quiere decir que en un solo mapa el sistema muestra la distribución de recursos, edificios, poblaciones, entre otros datos de los municipios, departamentos, regiones o todo un país. Este es un conjunto que

mezcla hardware, software y datos geográficos, y los muestra en una representación gráfica. Los SIG están diseñados para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar la información de todas las formas posibles de manera lógica y coordinada.

Los usuarios pueden editar los mapas, trabajar por capas y manipular la información que almacena el sistema para obtener resultados específicos o generales de una consulta. Encuentran respuestas como qué hay en un lugar, dónde sucedió un hecho, qué cambios ha habido, qué camino tomar o qué construcciones cercanas se encuentran. Por ejemplo en SI-GEO, el Sistema de Información Geográfica del Sector Educativo, una persona puede revisar las escuelas de su municipio y además ver los hospitales que están cerca, las montañas, las explotaciones mineras, los ríos, entre otros datos.

Este tipo de sistemas sirve especialmente para dar solución a problemas o preguntas sobre planificación, gestión y distribución territorial o de recursos. Son utilizados en investigaciones científicas, en arqueología, estudios ambientales, cartografía, sociología, historia, marketing y logística, entre otros campos.

Todos los sistemas de información geográfica y los resultados de las búsquedas en estos dependen de la calidad y cantidad de información suministrada en su base de datos. (Ministerio de Educación Nacional)

Otra definición de SIG la hace la empresa ESRI, la cual dice: Un sistema de información geográfica (SIG) es un sistema empleado para describir y categorizar la Tierra y otras geografías con el objetivo de mostrar y analizar la información a la que se hace referencia espacialmente. Este trabajo se realiza fundamentalmente con los mapas.

### Softwares a utilizar

En este proyecto se utilizarán dos softwares de modelación, el principal software utilizado es HEC-RAS (Hydrologic Engineering Centers River Analysis System) y una extensión de este a ARCGIS®, complementándose.

## **HEC-RAS**

HEC-RAS es un software desarrollado por el cuerpo de ingenieros del ejército de los Estados Unidos, sin embargo, el software hidrológico está a disposición del público, su uso no está restringido y cualquiera puede usarlo sin que ello conlleve ningún costo. HEC-RAS no proporciona asistencia técnica a los usuarios externos a este cuerpo del ejército.

## **ARCGIS**

ARCGIS ayuda al usuario a recopilar y administrar datos, trabajar con mapas avanzados, realizar análisis espaciales y dirigir proyectos SIG. Se puede pensar en el sistema ArcGIS como en una infraestructura para elaborar mapas y poner la información geográfica a disposición de los usuarios dentro de un departamento, por toda una organización, entre varias organizaciones y comunidades de usuarios o en Internet, para cualquier usuario interesado en acceder a ella. Por ejemplo, trabajadores con dispositivos móviles pueden estar actualizando mediciones en tiempo real sobre el terreno, mientras que los especialistas analizan esta misma información en sus equipos de escritorio y los planificadores realizan evaluaciones de impacto sobre los resultados de este análisis utilizando aplicaciones basadas en la Web.

## **Resultados**

Todos los cálculos fueron realizados con datos suministrados por la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR).

Se muestra a continuación en la imagen 5 el perfil de la cuenca media modelada, aquí ya se puede evidenciar el rebose del nivel del río sobre algunos diques en la condición de caudal máximo en la parte alta, media y baja del territorio. Esto se mostrará a mayor detalle más adelante.

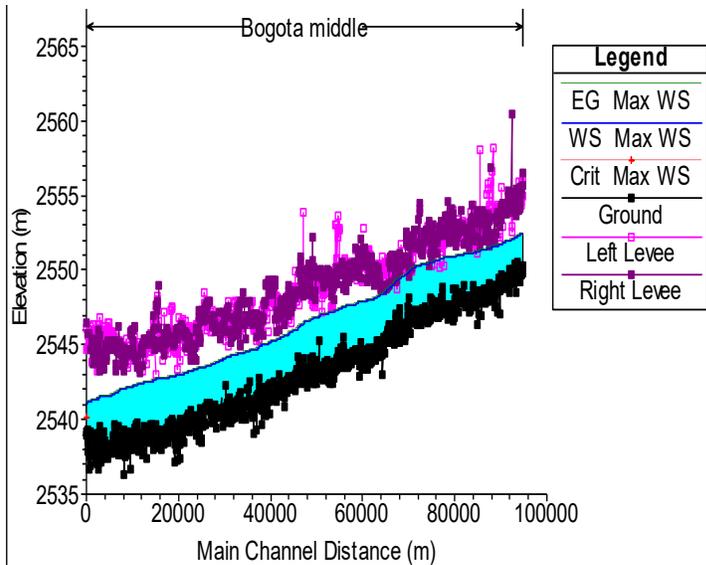


Imagen 5. Condiciones iniciales de los perfiles y la lámina de agua. Fuente. W. Camargo, 2015. Elaborado a partir de HEC-RAS. 4.1.0

En la imagen 6, vista en 3D de múltiples secciones se puede ver el modelamiento final realizado en la parte media de la cuenca en una condición inicial de caudal mínimo, viéndose a mayor detalle no hay rebase por parte del nivel del río en ningún tramo.

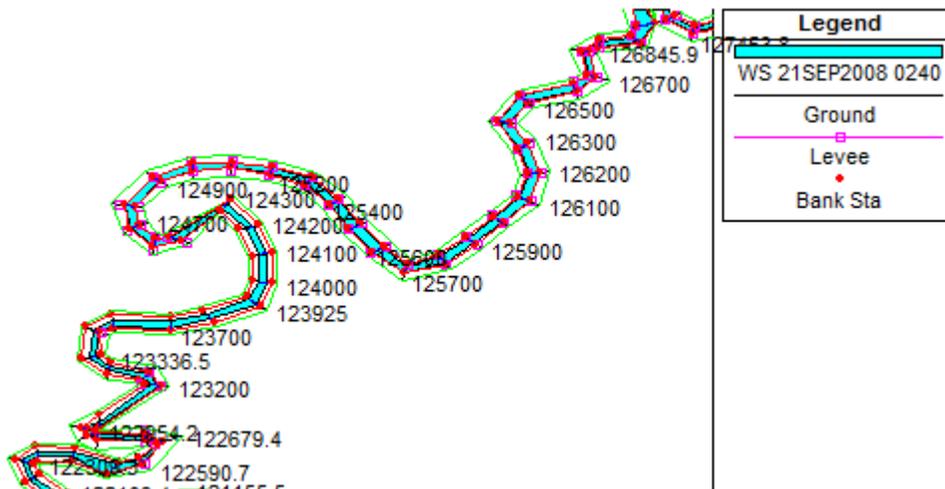


Imagen 6. Vista en 3D de múltiples secciones. Fuente. W. Camargo, 2015. Elaborado a partir HEC-RAS 4.1.0

Se muestra el punto de partida del modelado aguas arriba y aguas abajo del río Bogotá con los caudales mínimos esperados.

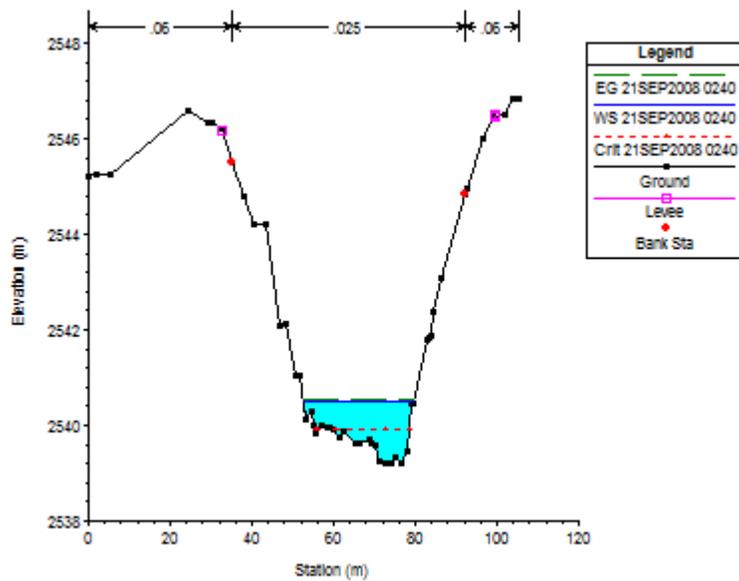
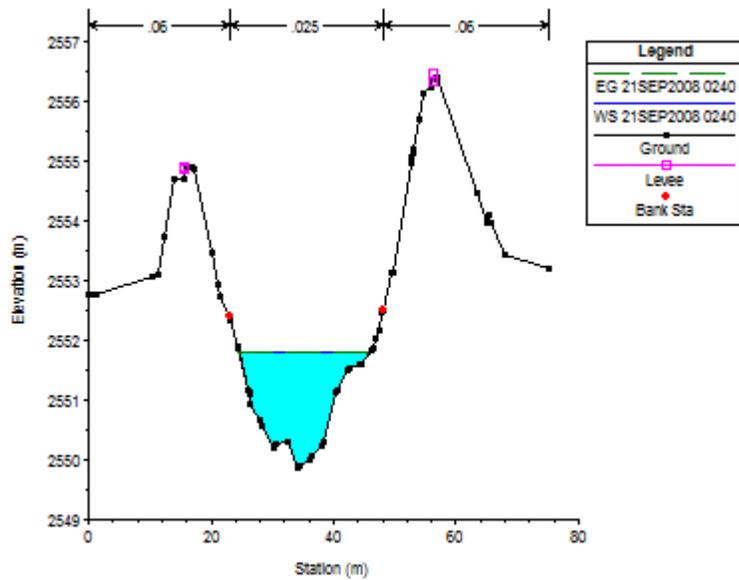


Imagen 7. Primera y última sección transversal en estudio aguas arriba con el nivel inicial. Fuente: W. Camargo, 2015, Elaborado a partir de HEC-RAS 4.1.0

En la imagen 8 se agrega una vista en planta del tramo en estudio del Río Bogotá junto con las estaciones meteorológicas e hidrológicas activas con jurisdicción de la CAR.

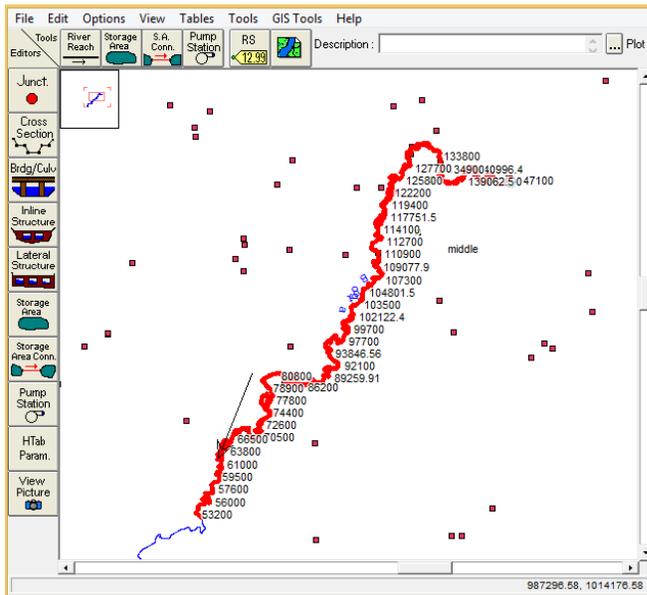


Imagen 8. Estaciones climatológicas e hidrológicas activas cercanas al territorio de estudio. Fuente. W.Camargo, 2015. Elaborado a partir de HEC-RAS 4.1.0 y ARCGIS 10.3

A favor de la imagen 8 se tiene la imagen que se muestra a continuación para completar y ubicar mejor al lector, donde son ubicadas las secciones transversales en estudio, se puede evidenciar que el río pasa por la zona norte de la cabecera municipal de Tocancipá, luego, por el Oriente de los municipios de Cajicá y Chía respectivamente para llegar a la estación de salida para el estudio en el municipio de Cota.

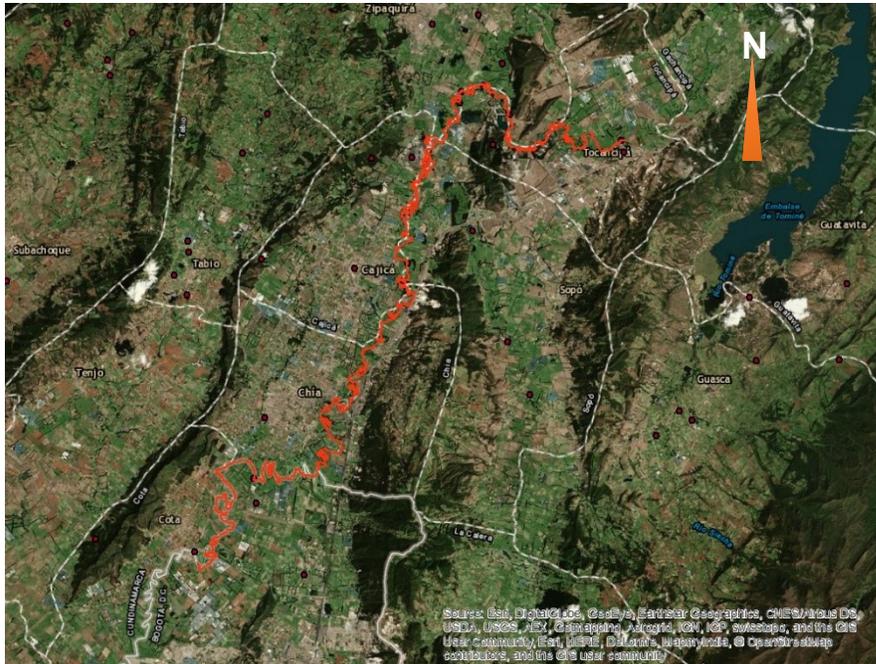


Imagen 9. Ubicación de las secciones transversales sobre el territorio. Fuente. W. Camargo, 2015. Elaborado a partir de ARCGIS 10.3

Se muestra a mayor detalle los primeros y últimos kilómetros del tramo de estudio con su caudal mínimo en las imágenes 10 y 11.

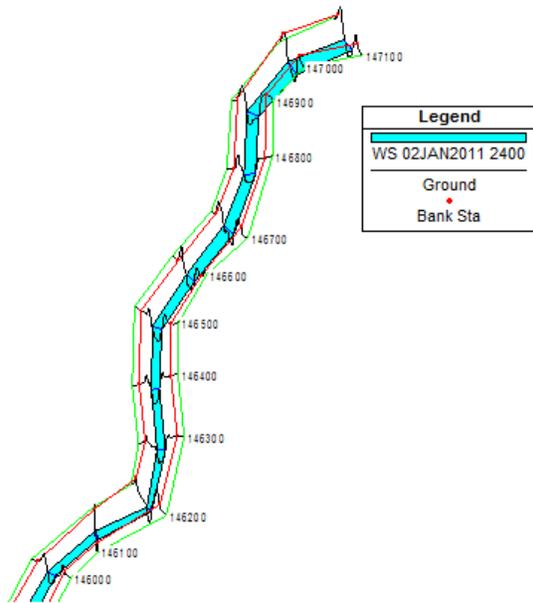
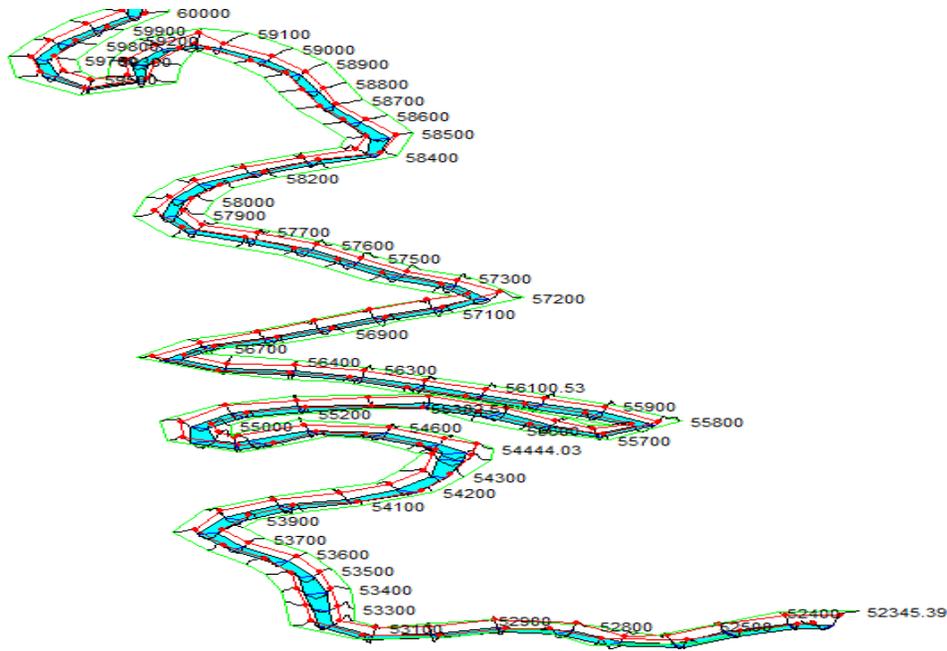


Imagen 10. Perspectiva X-Y-Z inicial del primer kilómetro de aguas arriba hacia aguas abajo. Fuente. W. Camargo, 2015. Elaborado a partir de HEC-RAS 4.1.0



*Imagen 11. Perspectiva X-Y-Z inicial de los últimos 7 Kilómetros de aguas arriba hacia aguas abajo. Fuente. W. Camargo, 2015. Elaborado a partir de HEC-RAS 4.1.0*

Después de tener un caudal inicial y agregar los datos proporcionados por la Corporación autónoma regional de Cundinamarca (CAR) para la entrada de caudal en la zona norte del municipio de Tocancipá, los aportes de caudal de los ríos Neusa, Tocancipá y Frío y el caudal de salida en la estación hidrometeorológica de Cota Cundinamarca se procede a modelar el flujo variado del río. Los datos seleccionados para este modelo son los datos del año 2011, pues, como se dijo anteriormente fue el año con los mayores caudales de los que se tenga registro hasta ahora.

En primer lugar se muestra una perspectiva 3D de la sección del río que queda al norte del municipio de Tocancipá en la imagen 12, con el modelo realizado se encuentran tramos que suman 900 metros que muestran un probable desbordamiento del río entre los meses de abril y mayo, estos mayormente concentrados en la zona oriente y centro del río donde muy cerca se encuentran urbanizaciones.

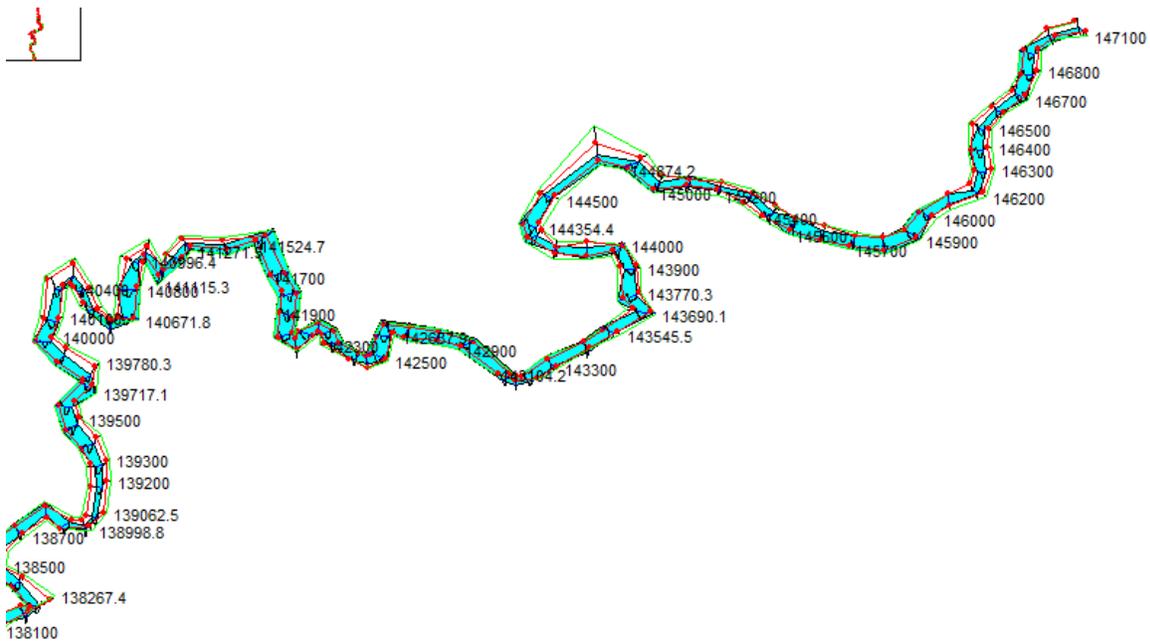
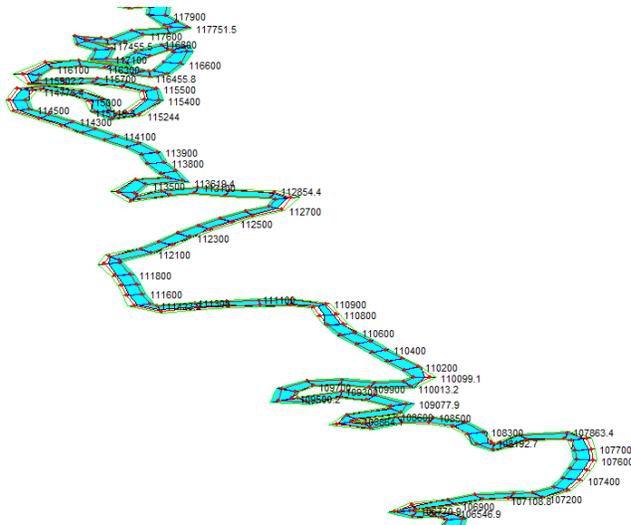


Imagen 12. Perspectiva X-Y-Z del río al norte del municipio de Tocancipá. Fuente. W. Camargo, 2015. Elaborado a partir de HEC-RAS 4.1.0

En seguida se muestra la perspectiva 3D de la sección del Río que pasa al oriente de la cabecera municipal de Tocancipá, donde, desde la entrada del caudal aportante del Río Teusacá se empiezan a evidenciar inundaciones entre los meses de abril y mayo, se tienen al menos 1300 metros de longitud del río desbordable, concentrándose en su mayoría en la entrada del Río Teusacá, donde se encuentran cultivos, además a tan solo 400 metros de la urbanización más cercana a la orilla del Río Bogotá se muestra una zona inundable.



*Imagen 13. Perspectiva X-Y-Z del río al oriente del municipio de Cajicá. Elaborado a partir de HEC-RAS 4.1.0*

Por último, en la imagen 16 se muestra la perspectiva 3D del Río Bogotá que pasa al oriente de la cabecera municipal del municipio de Chía, aquí es posible justificar tras la modelación realizada cerca de 3700 metros de zonas inundables a lo largo del río, concentrándose estas en el sector Norte y Sur del municipio, lugares donde este está relativamente alejado del río, pero, alguna población que se encuentra asentada en la zona centro oriental del municipio se encuentra al menos a 300 metros de distancia de una zona inundable del río, esta situación también es presentada entre los meses de abril y mayo.

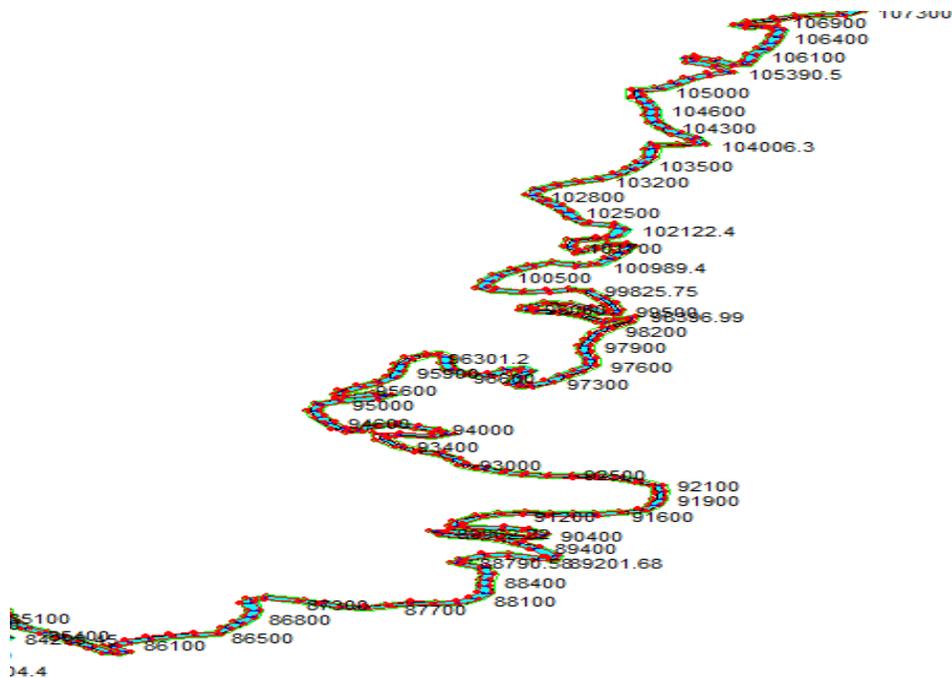


Imagen 14. Perspectiva X-Y-Z del río al oriente de la zona urbana de Chía. 106200 – 85900. Fuente. W. Camargo, 2015. Elaborado a partir de HEC-RAS 4.1.0

## Conclusiones

Según la Dirección General para la Atención y Prevención de Desastres (2002) en Colombia ocurre un desastre de origen natural de impacto nacional aproximadamente cada 4 o 5 años., además, como pudo ser observado en el gráfico 1 comúnmente después de un fuerte fenómeno del niño viene un fuerte fenómeno de la niña. A la fecha (2015) se está viviendo el fenómeno del niño en Colombia, es de esperarse un fuerte fenómeno de la niña al menos en los próximos dos años que sea de impacto nacional, pues el último más fuerte fue en el año 2011, tal como fue nombrado anteriormente en este artículo. ¿Está Colombia preparada para afrontar una segunda avenida de los ríos como la ocurrida anteriormente?

Para el próximo año niña de magnitudes similares a las del 2011 se esperan grandes avenidas en los municipios anteriormente nombrados y en los sectores individualizados. Es oportuno que las partes involucradas en la administración de decisiones y prevención de desastres prevengan este tipo de problemática que ya ha causado con anterioridad tantos estragos.

## ANEXOS



Imagen 15. Cuenca hidrográfica Río Bogotá y zona de estudio. Fuente. POMCA Río Bogotá, 2006

Tabla 2. Características hidrológicas de las cuencas. Fuente. POMCA Río Bogotá, 2006

Subcuenca	Oferta (m <sup>3</sup> /s)		Demanda (m <sup>3</sup> /s)				Índice de escasez	
	Período Seco	Período Húmedo	Doméstica	Agropecuaria	Industrial	Ecológica	Período Seco	Período Húmedo
Río Alto Bogotá	0.94	3.74	0.034	1.66	0.002	0.04	Alto	Medio Alto
Embalse Sisga	1.06	4.6	0.006	0.77		0.03	Alto	Medio
Embalse Tominé	3.51	10.05	0.021	1.76		0.04	Alto	Medio
Sector Sisga – Tibitoc	7.73	10.29	0.035	1.81	0.015	0.11	Medio Alto	Medio
Río Neusa	3.02	4.86	0.161	2.33	0.2	0.31	Alto	Alto
Río Negro	0.25	0.47	0.003	0.12		0.1	Alto	Medio Alto
Río Teusacá	2.73	5.38	0.05	1.95	0.002	0.15	Alto	Medio Alto
Río Frío	1.47	2.82	0.049	8.93	0.007	0.17	Alto	Medio Alto
Río Chicú	0.61	1.12	0.006	0.9	0.001	0.04	Alto	Alto
Sector Tibitoc – Soacha	15.21	20.67	5.244	2.26	0.006	2.27	Alto	Medio Alto
Río Balsillas	3.34	7.14	0.062	3.3	0.024	0.15	Alto	Medio Alto
Río Soacha	0.18	0.32	0.007	0.07		0.01	Alto	Medio Alto
Embalse Muña	0.58	1.06	0.044	0.63	0.002	0.04	Alto	Alto
Sector Salto – Soacha	22.02	29.92	0.089	0.51		3.28	Medio	Medio
Sector Salto – Apulo	29.82	40.31	0.078	1.11	0.004	4.89	Medio Alto	Medio
Río Calandaima	1.91	2.74	0.038	0.66	0.001	0.05	Medio Alto	Medio Alto
Río Apulo	6.17	7.92	0.118	2.14	0.004	0.16	Medio Alto	Medio Alto
Sector Apulo – Girardot	34.34	52.44	0.357	3.4	0.016	5.4	Medio Alto	Medio

## Bibliografía

- Borrález, A. (2011). *UNperiódico*. Obtenido de <http://www.unperiodico.unal.edu.co/dper/article/hay-que-devolverle-el-terreno-robado-al-rio-bogota.html>
- CAR. (27 de Junio de 2015). *CAR*. Obtenido de <https://www.car.gov.co/index.php?idcategoria=61204>
- CAR, Minambiente, Instituto Humboldt. (2013). *Propuesta de realínderación y recategorización de la reserva forestal protectora productora la cuenca alta del río bogotá declarada mediante el artículo 2° del acuerdo 30 de 1976 aprobado por el ministerio de agricultura mediante la resolución 76 de 1977*. Bogotá: CAR.
- Dueñas, C. (1997). *Marco normativo vigente ante el riesgo de inundaciones*. Madrid.
- El Tiempo. (2010). 'Hay que expropiar rondas del río'. *El Tiempo*. Obtenido de <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-4300069>
- H. Hernández, D. R. (15 de Septiembre de 2015). Entrevista. (W. Camargo, Entrevistador)
- IDEAM. (2008). *Protocolo Emision Pronosticos Hidrologicos*. Bogotá: IDEAM.
- IDEAM. (2011). *IDEAM*. Obtenido de IDEAM: <http://www.ideam.gov.co/web/agua/amenazas-inundacion>
- IDEAM. (2014). *IDEAM*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/web/agua/pronostico-hidrologico>
- IDIGER. (s.f.). *IDIGER*. Obtenido de <http://www.idiger.gov.co/inundacion>
- IDIGER. (s.f.). *IDIGER*. Obtenido de <http://www.idiger.gov.co/inundacion>
- Marin, R. (1992). Estadísticas sobre el recurso agua en Colombia. En R. M. Ramirez, *Estadísticas sobre el recurso agua en Colombia* (pág. 271). Bogotá: HIMAT.

Revista Semana. (2011). Emergencia por río Bogotá, una de las peores de la historia. *Semana*.