

**UTILIZACION DE MODELOS MATEMATICOS PARA LA FORMULACION DE  
UNA PROPUESTA DE GESTION AMBIENTAL EN LA ZONA NOROCCIDENTAL  
DEL RIO CALI**

**ELIANA CLARITZA CASTRO ARAGON  
LUIS ERNESTO CARRASCO VILLOTA**

**UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE PEREIRA  
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES  
ENERO DE 2011  
PEREIRA**

**UTILIZACION DE MODELOS MATEMATICOS PARA LA FORMULACION DE  
UNA PROPUESTA DE GESTION AMBIENTAL EN LA ZONA NOROCCIDENTAL  
DEL RIO CALI**

**ELIANA CLARITZA CASTRO ARAGÓN  
COD. 66.827.049  
LUIS ERNESTO CARRASCO VILLOTA  
COD. 12.993.818**

**Tesis de grado presentada como requisito para optar al título de  
ESPECIALISTA EN GESTIÓN AMBIENTAL LOCAL**

**Director  
ING. PH D. JOHNIERS GUERRERO ERAZO  
Asesor  
ING. M.Sc. GUILLERMO MORENO BECERRA**

**UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE PEREIRA  
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES  
ENERO DE 2011  
PEREIRA**

## NOTA DE ACEPTACIÓN

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**JURADO DIRECTOR**

---

**JURADO 1 EVALUADOR**

---

**JURADO 2 EVALUADOR**

Pereira, Risaralda Enero de 2011.

## CONTENIDO

<b>INTRODUCCION.....</b>	<b>13</b>
<b>1. JUSTIFICACION .....</b>	<b>14</b>
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>15</b>
<b>2.1 OBJETIVO GENERAL.....</b>	<b>15</b>
<b>2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....</b>	<b>15</b>
<b>3. MARCO TEORICO .....</b>	<b>16</b>
<b>3.1 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA EN ESTUDIO .....</b>	<b>16</b>
<b>3.1.1 Conformación del Sistema Sanitario .....</b>	<b>17</b>
<b>3.2 MODELACION DEL RECURSO HIDRICO .....</b>	<b>19</b>
<b>3.2.1 Modelo EPA SWMM 5.0.....</b>	<b>20</b>
<b>3.2.2 Ejemplos de Aplicación Modelo EPA SWMM .....</b>	<b>25</b>
<b>3.2.3 Modelo HEC-RAS .....</b>	<b>25</b>
<b>3.2.4 Ejemplos de Aplicación Modelo HEC RAS. ....</b>	<b>28</b>
<b>4. METODOLOGIA.....</b>	<b>30</b>
<b>4.1 FUENTES DE INFORMACION .....</b>	<b>30</b>
<b>4.2 APLICACIÓN DEL MODELO EPA SWMM 5.0.....</b>	<b>30</b>
<b>4.3 PROCESO DE MODELACIÓN EPA SWMM 5.0.....</b>	<b>31</b>
<b>4.4 PROCESO DE MODELACIÓN HECRAS V3.1.3.....</b>	<b>35</b>
<b>4.4.1 Condiciones de Flujo. ....</b>	<b>36</b>
<b>5. ANALISIS DE RESULTADOS.....</b>	<b>38</b>
<b>5.1 MODELO EPA SWMM 5.0.....</b>	<b>38</b>
<b>5.2 Modelo HECRAS v3.1.3.....</b>	<b>39</b>
<b>5.2.1 Niveles de Agua.....</b>	<b>39</b>
<b>5.3 RIESGO POR INUNDACIÓN.....</b>	<b>48</b>
<b>6. PROPUESTA DE GESTION AMBIENTAL.....</b>	<b>49</b>
<b>6.1 PROPUESTA DE GESTIÓN PARA EL CONTROL DEL RIESGO POR INUNDACIÓN.....</b>	<b>49</b>

<b>6.1.1 Puntos Críticos Expuestos .....</b>	<b>50</b>
<b>6.1.2 Construcción de Escenarios de Afectación por Inundación Para el Municipio de Santiago de Cali.....</b>	<b>53</b>
<b>6.1.3 Plan de Mitigación de Riesgos en Cali.....</b>	<b>54</b>
<b>6.1.3.1 Propósitos del Plan en La Comuna 6 y Aledañas.....</b>	<b>55</b>
<b>6.2 ALTERNATIVAS DE CORRECCIÓN DE INFRAESTRUCTURA EXISTENTE.....</b>	<b>58</b>
<b>6.3 PRESUPUESTO APROXIMADO PARA LA PROPUESTA DE GESTIÓN DE RIESGO POR INUNDACIÓN.....</b>	<b>61</b>
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>62</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>65</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>66</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>68</b>

## LISTA DE FIGURAS

	<b>PAG.</b>
Figura 1. Colectores y estación de bombeo del barrio Floralia	18
Figura 2. Esquema general del proyecto modelo EPA SWMM 5.0	32
Figura 3. Visor de secciones transversales	34
Figura 4. Curva de duración de los niveles diarios en la estación Hidrométrica Juanchito, Rio Cauca	37
Figura 5. Perfil longitudinal para diferentes periodos de retorno – Modelo HEC – RAS	39
Figura 6. Sección transversal No. 35	41
Figura 7. Vista 3D de los perfiles de agua en el rio Cali con periodos de retorno de 5, 10, 20 y 50 años	43
Figura 8. Vista 3D de los perfiles de agua en el rio Cali con periodos de retorno (Tr) 10 años	44
Figura 9. Vista 3D de los perfiles de agua en el rio Cali con periodos de retorno (Tr) 20 años	45
Figura 10. Vista 3D de los perfiles de agua en el rio Cali con periodos de retorno (Tr) 50 años	46
Figura 11. Alternativas para el control de inundación	59

## LISTA DE TABLAS

	<b>PAG.</b>
Tabla 1. Identificación de un nudo	33
Tabla 2. Editor de secciones transversales	34
Tabla 3. Modo de introducción de un conducto	35
Tabla 4. Resultado de la simulación	38
Tabla 5. Red de alcantarillado contemplado en la alternativa	58
Tabla 6. Costo aproximado para control de inundación	60

## LISTA DE ANEXOS

	<b>PAG.</b>
Anexo A. Resultados Modelación con HEC RAS V3.1.3	58
Anexo B. Mapa de inundación Zona Noroccidental Río Cali entre los municipios de Cali y Yumbo	62
Anexo C. Afectación por inundación del sistema vial para la elaboración del PLEC de Santiago de Cali 2009	63
Anexo D. Aplicativo DesInventar (Corporación OSSO)	65



## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por darme la capacidad de perseverar en éste proyecto.

A mi familia por comprender que requería de tiempo y dedicación para sacar avante éste trabajo de grado.

A Luis Ernesto Carrasco Villota por acompañarme incondicionalmente en todo mi proceso de formación profesional.

Al Ing. Guillermo Moreno Becerra por su asesoría, por compartir sus conocimientos con nosotros, por su tiempo invertido, su esmerado esfuerzo y toda la dedicación empleada para culminar éste proyecto con éxito.

A la Ingeniera Yolanda Otero, por la información suministrada y sus recomendaciones.

A los Ing. Yenny Mayorquín y Juan Carlos Burbano Criollo por sus excelentes aportes y recomendaciones.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por la fortaleza.

A mi madre Alba Cecilia Villota por sus oraciones.

## **DEDICATORIA**

A la memoria de mi padre y amigo Luis Felipe Carrasco Benavides.

A mi hijito Luis Alejandro Carrasco Echeverry, mi motor y razón de ser.

## RESUMEN

El sistema de drenaje urbano de la Ciudad de Cali, está constituido por fuentes naturales y canales artificiales de diferentes secciones, formas y materiales que permiten evacuar, tanto las aguas lluvias como las residuales, procedentes de los diferentes usos del agua y actividades domésticas e industriales que se desarrollan en la ciudad.

La zona de estudio está comprendida entre la Clínica Los Remedios y la desembocadura del Río Cali al Río Cauca, la cual se ve afectada por crecientes atribuidas a las altas pendientes de la cuenca en su parte alta, a la pérdida de cobertura vegetal, a la invasión del río principal, generadas por el incremento de la población y las limitaciones del alcantarillado para transportar grandes volúmenes de agua.

El tránsito de caudales para los periodos de retorno analizados (5, 10, 20 y 50 años) se realizó con la información extraída de las tesis: “Levantamiento topográfico y diseño de las obras de control de inundaciones del Río Cali en el sector norte de la ciudad” y “Modelación Hidrodinámica del sistema de drenaje urbano de la ciudad de Cali en el área de influencia del Río Cali” utilizando los modelos matemáticos EPA SWMM 5.0 y HECRAS v3.1.3, para determinar las zonas de inundación.

La zona afectada, se identificó especialmente como el barrio Floralia lo que originó la propuesta de gestión ambiental para mitigar el impacto ambiental de las inundaciones donde se plantea en términos generales mejorar la capacidad y estabilidad del sistema de alcantarillado y ofrecer educación ambiental a los habitantes con el objeto de contribuir al bienestar de la población expuesta y reducir el riesgo por inundación.

## ABSTRACT

The urban system drainage of Cali, is constituted by natural sources and artificial channels of different sections, forms by material that allow to evacuate, so much the waters rains like the residual, that come from different uses of the water and domestic and industrial activities that develop in the city.

The zone of study is comprised between the Clinical Los Remedios and the mouth of the Cali river to the Cauca river, which sees affected by increasing attributed to the high slopes of the subcatchment in his high part, to the loss of vegetal coverage, to the human invasion of the main river, generated by the increase of the population and the limitations of the sewerage to transport big volumes of water.

The flow routing for frequency analysed (5, 10, 20 and 50 years) realized with the information extracted of the theses: “Topographical study and design structures of control of floods of the Cali river in the sector north of the city” and “Hydrodynamic pack of the system of urban drainage of the Cali city in the area of influence of the Cali river” using the mathematical models EPA SWMM 5.0 and HECRAS v3.1.3, to determine the zones of flood.

The zone affected, identified especially as the neighbourhood Floralia what originated the proposal of environmental management to mitigate the environmental impact of the floods where pose broadly improve the capacity and stability of the system of sewerage and offer environmental education to the habitants with the object of contribute to the welfare of the population exposed and reduce the risk by flood.

## INTRODUCCION

El sistema de drenaje urbano de la Ciudad de Cali, se ha desarrollado a través del tiempo teniendo como eje principal el río tutelar y está directamente relacionado con la cuenca hidrográfica, que corresponde a un área aproximada de 2432 Ha y lo componen especialmente el Río Cali como receptor principal y drenajes secundarios primordialmente, tales como, las quebradas Santa Mónica, El Bosque, Chipichape y Menga, además de los canales artificiales pluviales: Acopi, Calle 52 y Guadales. Adicionalmente, cuenta con los interceptores sanitarios principales en las márgenes izquierda y derecha del Río y las estructuras correspondientes a los colectores combinados.

Siendo el Río Cali el “río” tutelar de una de las cinco ciudades principales de Colombia, donde la expansión poblacional no controlada, la deficiente planeación en la construcción de sistemas de alcantarillado, la carencia de mantenimiento periódico de los mismos, la poca protección de la naturaleza y del recurso hídrico por obstrucción de la franja de protección ambiental, la inadecuada disposición de residuos sólidos, la carencia de control de descargas de tipo sanitario e industrial a las corrientes de agua y la falta de educación ambiental en los habitantes son algunas de las contribuciones a la paulatina contaminación del río, el cual vierte sus aguas al Río Cauca, sin tratamiento alguno, en jurisdicción del municipio de Yumbo.

La zona Nor-Occidente de la ciudad se ve afectada por las crecientes motivadas por altas pendientes de la cuenca en su parte alta, por la pérdida de cobertura vegetal, por la invasión del cauce principal, generadas por la expansión poblacional y limitaciones del alcantarillado para transitar caudales generados en eventos con periodo de retorno igual o mayor a 5 años.

## 1. JUSTIFICACION

Con éste estudio se pretende analizar el comportamiento del Río Cali, mediante la utilización de los modelos EPA SWMM 5.0 y HECRAS v3.1.3 dando continuidad a los trabajos denominados: “Levantamiento topográfico y diseño de las obras de control de inundaciones del Río Cali en el sector norte de la ciudad”<sup>1</sup> y “Modelación Hidrodinámica del sistema de drenaje urbano de la ciudad de Cali en el área de influencia del Río Cali”<sup>2</sup>, en procura de identificar la calidad del recurso hídrico en la zona de estudio, el riesgo mediante la determinación de zonas de inundación en los períodos de retorno críticos y plantear una propuesta de gestión ambiental local que permita tomar medidas de control de riesgo por inundación para los municipios de Cali y Yumbo, en vista de la exposición de la población en el punto de entrega del Río Cali al Río Cauca y debido a que se encuentra en desarrollo el plan local de emergencias y contingencias que permite mitigar el efecto de las inundaciones, se considera relevante la elaboración de la presente tesis.

Se enfatiza en la necesidad de plantear la propuesta por riesgo de inundabilidad en vista que en la ciudad se le ha dado mayor relevancia al tema de deslizamientos y a la ola invernal presentada en el 2010.

---

<sup>1</sup> *TORRES HURTADO, Juan Carlos.* Levantamiento topográfico y diseño de las obras de control de inundaciones del Río Cali en el sector norte de la ciudad. CIDER Universidad de los Andes Consultoría para el Desarrollo Territorial, 2006.

<sup>2</sup> *DELGADO, Alexandra; PULIDO, Sandra Milena.* Modelación Hidrodinámica del sistema de drenaje urbano de la ciudad de Cali en el área de influencia del Río Cali, 2005. s.p.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

Formular una propuesta de gestión ambiental en la zona de confluencia de los ríos Cali y Cauca, para el control del riesgo por inundación utilizando los modelos matemáticos EPA SWMM 5.0 y HECRAS v3.1.3.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Efectuar la modelación hídrica del Río Cali en el sistema de drenaje urbano de la zona noroccidental de la ciudad, desde la Clínica de los Remedios hasta su desembocadura al Río Cauca, aplicando los modelos matemáticos EPA SWMM 5.0 y HECRAS v3.1.3, para determinación de zonas de inundación, en periodos de retorno de 5, 10, 20 y 50 años.
- Proponer estrategias de gestión ambiental para la mitigación del riesgo por inundación en las zonas críticas.

### 3. MARCO TEORICO

#### 3.1 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA EN ESTUDIO

"La Cuenca Hidrográfica del Río Cali limita al norte con el Río Aguacatal y la vertiente del Pacífico, al sur con las Cuencas de los Ríos Pánce y Meléndez, al Oriente con la cuenca del Río Cañaveralejo y la ciudad de Cali (hasta la bocatomía del acueducto de San Antonio) y al occidente con la vertiente del Pacífico. Se extiende desde la Cordillera Occidental donde nace el Parque Natural Farallones de Cali, en la cota 4000 m.s.n.m. hasta su desembocadura en una superficie de 12352 Ha. Está conformada por las subcuencas de los Ríos Pichindé (18.6 Kms. y 5905.37 Ha), Pichindécito, Felidia (22.5 Km y 4643.83 Ha), Aguacatal y Cabuyal (8.0 Km y 1365.17 Ha). Se caracteriza por poseer un relieve alto con colinas alargadas de pendientes superiores a los 45° y vertientes asimétricas y lisas"<sup>3</sup>.

En la parte baja de la cuenca, objeto del presente trabajo, el uso del suelo es básicamente residencial e institucional, razón por la cual es la zona más deteriorada y afectada. En ésta parte se identifican las Quebradas Fátima, el Portillo, Menga, Santa Mónica, Chipichape y El Bosque. Además, existen los asentamientos subnormales de La Isla y Camilo Torres, invadiendo la franja de protección ambiental del río, lo que incide directamente en el deterioro por descargas de sus aguas residuales domésticas.

El sistema separado de aguas lluvias está constituido por los canales pluviales Santa Mónica (Calle 34), Vipasa (Calle 45), Calle 52, Canales Menga (Calle 70) y Acopi y desde los barrios Nuevo San Vicente (Calle 32) hasta la entrega al Canal Acopi.

---

<sup>3</sup> DAGMA. La Ciudad de los 7 Ríos. Cali, Colombia. Primera Edición; 1997; p.75.



El proyecto se desarrolló desde el Sector de la Clínica de Los Remedios hasta la descarga del Río Cali al Río Cauca, incluyendo los Canales Calle 45, Calle 52, Menga y Acopi.

### **3.1.1 Conformación del Sistema Sanitario**

El sistema principal está conformado por los dos principales interceptores a cada lado del Río Cali. El interceptor marginal de la margen izquierda drena un área cercana a 965.62 Ha y el interceptor marginal derecho drena un área aproximada a 43.93Ha.

El interceptor marginal izquierdo, tiene una longitud cercana a los 10897 m, con diámetros que van desde 15" hasta 1.80 m. y el interceptor marginal de la margen derecha, mide aproximadamente 5174 m., con secciones que oscilan entre conductos de 10" a 1.30 m. y box culvert entre 0.70\*1.20 m. y 1.48\*1.20 m<sup>2</sup>.

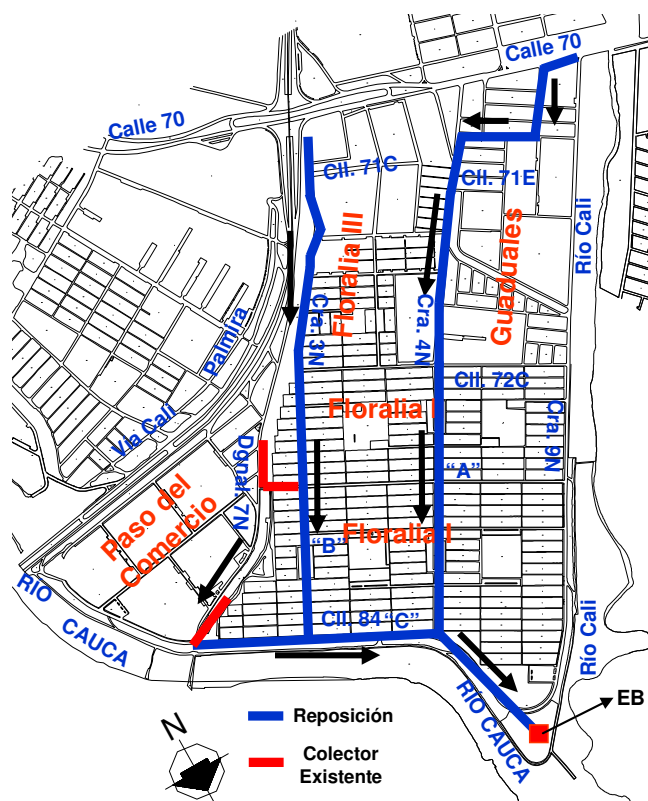
El sistema secundario de la margen izquierda está conformado por los siguientes colectores:

- 1 . Colector sanitario de la calle 45: con un área de drenaje de 51.61 Ha.
- 2 . Colector sanitario de la calle 47: con un área de drenaje de 5.79 Ha.
- 3 . Colector sanitario de la calle 47B: con un área de drenaje de 6.17 Ha.
- 4 . Colector sanitario de la calle 51: con un área de drenaje de 41.44 Ha.
- 5 . Colector sanitario de la calle 52: con un área de drenaje de 4.25 Ha.
- 6 . Colector sanitario de la calle 62: con un área de drenaje de 43.39 Ha.-1
- 7 . Colector sanitario de calle 70: con un área de drenaje de 5.24 Ha
- 8 . Colector sanitario Menga: con un área de drenaje de 271.44Ha.
- 9 . Colector sanitario Álamos: con un área de drenaje de 8.01 Ha.

El colector marginal derecho comienza aproximadamente 100 m. después del Bosque municipal (zoológico de Cali), recibe un sistema de alcantarillado combinado aliviado por dos estructuras de separación correspondientes a la Quebrada San Cristóbal y el Zanjón. Dicho colector recibe las descargas de las áreas tributarias de los barrios Santa Teresita, El Peñón, La Merced, El Piloto, entre otros sectores con sistema de alcantarillado combinado.

Adicionalmente, se cuenta con el interceptor oriental de aguas residuales y la parte final del barrio Floralia cuenta con la estación de bombeo del mismo nombre, que descarga al Río Cauca luego de recibir las aguas del colector de la margen derecha (ver figura 1).

**Figura 1. Colectores y estación de bombeo de Floralia**



*Fuente: CONTRATO 300 - No. GAA-CC-478-2005. Consultoría para el control de las inundaciones en los barrios Calipso y Floralia, Abril de 2006.*

### 3.2 MODELACION DEL RECURSO HIDRICO

Un modelo es una representación del medio ambiente utilizado para simular las condiciones ambientales y su respuesta ante estímulos o impactos determinados. Una vez que el modelo ha sido seleccionado o construido pueden ser evaluados los efectos de la acción propuesta y sus alternativas. Los modelos más comúnmente utilizados son los matemáticos de diferentes grados de complejidad. “También se emplean los modelos físicos cuando las situaciones son demasiado complejas para ser analizadas matemáticamente. Los modelos matemáticos pueden ser uni, bi o tridimensionales dependiendo de las características físicas del medio a simular, como se describe a continuación:

**Modelos unidimensionales:** se utilizan generalmente para representar flujos de aguas en ríos, siendo la dirección considerada el sentido del escurrimiento.

**Modelos bidimensionales:** se utilizan para ríos de gran ancho, en los cuales las concentraciones de contaminantes varían de un lado de la ribera al otro. En éstos casos se usa un sistema cartesiano de coordenadas, en el cual una de ellas corresponde al sentido del flujo y la otra a la dimensión lateral.

**Modelos tridimensionales:** encuentran aplicación en estudios de aguas subterráneas y en sistemas más complejos de aguas superficiales. Requieren de mayor información que los modelos uni y bidimensionales y también mayor tiempo computacional, por lo que su uso se restringe a problemas de gran magnitud cuando se dispone de recursos suficientes para su aplicación.

Los modelos pueden ser **dinámicos** o de **estado estacionario**. Los dinámicos proveen información acerca de la calidad del agua tanto en la dirección (o distancia aguas abajo de una descarga) como en el tiempo y los estacionarios

suponen que existe variación sólo en el espacio (no existe cambios de los indicadores en el tiempo), como por ejemplo una descarga continua y constante. Estos son de menor grado de dificultad y de menor costo de aplicación que los modelos dinámicos. Los parámetros a modelar, al igual que el tipo de modelo a emplear, deben ser identificados antes de iniciar aplicación del mismo. Es necesario tener presente que modelar un gran número de parámetros puede resultar no sólo muy oneroso sino también en muchos casos redundante e innecesario”<sup>4</sup>.

### **3.2.1 Modelo EPA SWMM 5.0.**

Como herramienta útil para realizar éste trabajo de grado se empleó el *Storm Water Management Model* (modelo de gestión de aguas pluviales) desarrollado por la Agencia de Protección del Medioambiente - EPA de los Estados Unidos siendo éste un modelo dinámico de simulación de precipitaciones que posee la capacidad de calcular el impacto de la escorrentía y evaluar la eficacia de las estrategias de mitigación propuestas para garantizar la conservación de las fuentes de agua. Es considerado un modelo numérico que permite simular el comportamiento hidrológico e hidráulico y de calidad de un sistema de drenaje urbano.

El modelo se desarrolló en 1971, funciona bajo sistema Windows proporcionando un entorno que permite el ingreso de datos de “entrada” para el área de drenaje, simular el comportamiento hidráulico, estimar la calidad del agua y observar todos los resultados en gran variedad de formatos, incluyendo mapas de contorno o isolíneas para el área de drenaje, gráficos y tablas de evolución a lo largo del tiempo, diagramas de perfil y análisis estadísticos de frecuencia. Además, es una herramienta de utilidad para la planificación y gestión de los recursos hídricos y

---

<sup>4</sup> Chapra, S. C. Water Quality Modeling. New York, Mc Graw Hill , pag 502, 1997.

por consiguiente para la calidad de las aguas.

El “Modelo de Gestión de Aguas Pluviales” – EPA SWMM 5.0, es dinámico en la simulación de precipitaciones que se puede emplear para un único evento o para efectuar una simulación continua en periodo extendido. El programa permite simular tanto la cantidad como la calidad del agua evacuada básicamente a través de alcantarillados urbanos. El módulo de esorrentía o hidrológico funciona con una serie de cuencas en las cuales cae la precipitación y se origina la esorrentía; el de transporte o hidráulico analiza el recorrido de ésta agua mediante un sistema compuesto por tuberías, canales, dispositivos de almacenamiento y tratamiento, bombas y elementos reguladores. De igual manera es útil para hacer seguimiento a la evolución de la cantidad y calidad del agua de esorrentía de cada cuenca, así como el caudal, el nivel de agua en los pozos o la calidad del agua en cada tubería o canal durante una simulación compuesta por múltiples intervalos de tiempo.

- **Características del Modelo Hidrológico.** El modelo EPA SWMM considera distintos procesos hidrológicos que se producen en la salida de las aguas urbanas y contiene un conjunto flexible de herramientas de modelación de características hidráulicas utilizado para analizar el flujo debido a la esorrentía superficial y los aportes externos de caudal a través de una red de tuberías, canales, dispositivos de almacenamiento y tratamiento y demás estructuras<sup>5</sup>.

Como aplicaciones del EPA SWMM se mencionan:

- El diseño de estrategias de control de la red para minimizar el número de descargas de sistemas de evacuación de aguas residuales.

---

<sup>5</sup> National Risk Management Research Laboratory. USA. Manual del Usuario. Modelo EPA SWMM Versión 5.0, 2005.

- Diseño y dimensionamiento de los componentes del sistema de drenaje para el control de inundaciones.
- Dimensionamiento de los centros de detención y sus accesorios para control de inundaciones y protección de la calidad del agua.
- Cartografía de la llanura aluvial de los sistemas de canales naturales (SWMM 5 es un modelo aprobado por FEMA para los estudios NFPI).
- Diseñar estrategias de control para minimizar desbordamientos combinados de alcantarillado.
- Evaluar el impacto de la afluencia y la infiltración a los desbordamientos de drenaje sanitario.
- La generación de cargas no puntuales de fuentes de contaminantes para los estudios de asignación de carga de residuos.
- SWMM simula tormentas sobre la base de ingreso de precipitaciones (histogramas) a sistemas de alcantarillado y presenta resultados en forma de valores cuantitativos y cualitativos.

En términos generales el SWMM está compuesto por bloques como los siguientes:

- Fuente de datos: El bloque RUNOFF genera escorrentía superficial y subsuperficial basado en histogramas de precipitación, condiciones previas, uso del suelo y topografía. El flujo base puede ser generado usando el Bloque TRANSPORT.
- Cuerpo central: Lo constituyen los bloques RUNOFF, TRANSPORT Y EXTRAN, simula flujos y compuestos contaminantes a través del sistema de alcantarillado.

- Dispositivos de tratamiento: Lo constituyen los bloques STORAGE/TREATMENT que caracterizan los efectos de los dispositivos de flujo y calidad.

En Extran, la ecuación de movimiento es combinada con la ecuación de continuidad para producir una ecuación a ser resuelta en cada conducto y en cada intervalo de tiempo (#).

$$\partial Q / \partial t + gAS_f - 2V\partial A / \partial t - V^2\partial A / \partial x + gA\partial H / \partial x = 0 \quad \dots\dots(1)$$

- Donde,
- Q = caudal en el conducto
  - V = velocidad de flujo en el conducto
  - A = Area transversal de flujo
  - H = Carga hidráulica
  - Sf = pendiente de fricción

La ecuación de Manning define,

$$S_f = \frac{k}{gAR^{4/3}} Q|V|$$

Donde:

$$k = g \cdot (n/1.49)^2 \quad \text{para el Sistema de Unidades U.S.A}$$

$$k = g \cdot n^2 \quad \text{para el Sistema Internacional}$$

$n$             Coeficiente de rugosidad de Manning

$g$             Aceleración debido a la gravedad

$R$             Radio hidráulico.

El uso del valor absoluto en el término de la velocidad hace a Sf una cantidad direccional y asegura que la fuerza de fricción siempre se oponga al flujo.

Substituyendo en la ecuación (1) y expresando en forma de diferencias finitas:

$$Q_{t+\Delta t} = Q_t - \frac{k\Delta t}{R^{4/3}} |V_t| Q_{t+\Delta t} + 2\bar{V}(\Delta A / \Delta t)_t \Delta t + \bar{V}^2 [(A_2 - A_1) / L] \Delta t - g\bar{A} [(H_2 - H_1) / L] \Delta t$$

$\Delta t$  Intervalo de tiempo

$L$  Longitud del conducto.

Resolviendo la ecuación para  $Q_{t+\Delta t}$  :

$$Q_{t+\Delta t} = \frac{1}{1 + \frac{k\Delta t}{R^{4/3}} |V_t|} \left[ Q_t + 2\bar{V}(\Delta A / \Delta t)_t \Delta t + \bar{V}^2 [(A_2 - A_1) / L] \Delta t - g\bar{A} [(H_2 - H_1) / L] \Delta t \right]$$

Donde:

$[\bar{V}, \bar{A}, \bar{R}]$  son los promedios en los extremos del conducto en el tiempo,

$\left( \frac{\Delta A}{\Delta t} \right)_t$  es evaluada para el intervalo anterior.

Las incógnitas básicas son:  $Q_t, H_2, H_1$

Las variables  $[\bar{V}, \bar{A}, \bar{R}]$  pueden ser referidas a  $Q$  y  $H$ , por lo tanto, se requiere otra ecuación que relacione  $Q$  y  $H$ , la que puede ser obtenida de la ecuación de continuidad en cada nudo:

$$\partial H / \partial t = \sum Q_t / A_{s_t}$$

o en forma de diferencias finitas:

$$H_{t+\Delta t} = H_t + \sum Q_t \Delta t / A_{s_t}$$

donde:

$A_{s_t}$  Área de la superficie del nudo.



### **3.2.2 Ejemplos de Aplicación Modelo EPA SWMM**

Como ejemplo aplicación de este modelo se hace referencia al documento de estudio para evaluar el funcionamiento hidráulico del alcantarillado con la ayuda del modelo de simulación hidráulica Storm Water Management Model (EPA SWMM 5.0), a fin de conocer sus posibles deficiencias. Modelación Hidráulica del sistema de recolección de aguas residuales de la Ciudadela Industrial de Duitama con el apoyo de Storm Water Management Model. Abril 2008. Departamento de Boyacá. Colombia.

### **3.2.3 Modelo HEC-RAS**

El modelo matemático HECRAS v3.1.3 fue desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros de las Fuerzas Armadas de los Estados Unidos (USACE) y consiste en un sistema computacional integrado, comprendido por una interfaz gráfica (GUI); los componentes separados de análisis hidráulico (el simulador propiamente dicho); y las herramientas para la generación de reportes tabulares y gráficos de resultados (postprocesador).

El HEC-RAS está diseñado para realizar cálculos hidráulicos unidimensionales para una red completa de canales naturales o artificiales. El primer componente calcula *perfiles de la superficie de agua para flujo permanente*, bajo la condición de flujo gradualmente variado. El sistema funciona para un solo canal, un sistema dendrítico o una completa red de canales y con él se pueden modelar flujos subcríticos, supercríticos y mixtos (compuesto por los dos anteriores).

El procedimiento computacional se basa en la solución unidimensional de la ecuación de la energía. Las pérdidas de energía son evaluadas por fricción (Ecuación de Manning) y contracción/expansión. La ecuación de moméntum es

utilizada en situaciones en las cuales el perfil de agua es rápidamente variado.

Estas situaciones incluyen cálculos de régimen mixto (i.e. salto hidráulico), hidráulica de puentes y evaluación de los perfiles en las confluencias de canales.

La metodología del cálculo se basa en la resolución de la ecuación de balance de la energía en una dimensión mediante un proceso iterativo (standard step method).

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e$$

Dónde:

Y1, Y2	Altura lámina de agua en la sección
Z1, Z2	Elevación del canal principal
V1, V2	Velocidades medias (descarga total/área total de flujo)
$\alpha_1, \alpha_2$	Coefficientes de velocidad
g	Aceleración de la gravedad
$h_e$	Pérdidas de energía

Las pérdidas de energía se avalúan por el efecto de la fricción, ecuaciones de Manning y por contracción – expansión.

$$h_e = L\bar{S}_f + C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right|$$

Donde:

- L Tramo de descarga
- Sf Pendiente por fricción representativa entre las dos secciones
- C Coeficiente de pérdida por contracción y/o expansión

En las secciones donde se presenten variaciones rápidas del perfil de la lámina de agua y no se conozcan de una forma demasiado detallada las pérdidas de energía, el programa utiliza la ecuación del “momentum”, mediante la cual se establece el equilibrio de fuerzas (según Ley de Newton) tanto a los resaltos hidráulicos como a las confluencias de diferentes ríos.

$$\frac{I}{A} * \frac{\delta Q}{\partial t} + \frac{I}{A} * \frac{\delta}{\partial x} \left( \frac{Q^2}{A} \right) + g \frac{\delta Y}{\partial x} - gS_f - gS_0 = q_1(v_1)_x$$

Dónde:

- Q Caudal, m<sup>3</sup>/s
- t Tiempos, s
- x Distancia en la dirección del flujo, m.
- y Calado hasta el tubo de flujo, en m.
- A Área mojada, m<sup>2</sup>
- v Velocidad media, m/s.
- Sf Pendiente de la línea de energía, m/m
- g Aceleración de la gravedad, m/s<sup>2</sup>

### 3.2.4 Ejemplos de Aplicación Modelo HEC RAS.

Como ejemplos de utilización del modelo se mencionan:

Aplicación del Modelo Hec-Ras para el cálculo de los perfiles hidráulicos del Sistema Hídrico del Río Chaguaná. 2009. Vivas Gonzalez, Christian Javier.

Matamoros Camposano, David Enrique.

<http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/97>.

Propuesta Metodológica para la Generación de Mapas de Inundación y Clasificación de Zonas de Amenaza. Caso de estudio en la parte baja del Río las Ceibas (Neiva- Huila). Erasmo Alfredo Rodríguez Sandoval, Ricardo Alfonso González Pinzón, Martha Patricia Medina Nieto, Yuly Andrea Pardo Cotrino, Ana Carolina Santos Rocha. Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola, Grupo de Investigación en Ingeniería de los Recursos Hídricos (GIREH), Universidad Nacional de Colombia-Bogotá, [earodriguezs@unal.edu.co](mailto:earodriguezs@unal.edu.co). [ricagonzalezp@unal.edu.co](mailto:ricagonzalezp@unal.edu.co).

Alternativa de reducción del caudal en el Canal del Dique mediante angostamiento de la sección por sectores y construcción de la esclusa de Paricuica. Anexo c: modelación del canal del dique con Hec-Ras. Convenio interadministrativo lehuncm-1-033-2007. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de ingeniería.

El programa HEC-RAS fue utilizado para realizar la simulación hidráulica preliminar del Canal del Dique. El canal se modeló sin la interacción Canal-Ciénagas, tomando solo los caudales derivados por el río Magdalena en un rango en el cual no se producen desbordes laterales.

Estudio hidrológico e hidráulico de la Cuenca del Río San Eugenio para generar una información básica para la intervención de la cuenca en su tramo urbano.

Modelación hidráulica de varios eventos hidrológicos de grandes magnitudes, para distintos periodos de retorno, a través del análisis de información disponible y recolectada (información secundaria, restitución aerofotogrametría, levantamiento topográfico, registros de estaciones), con la aplicación del programa HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center – River Analysis System), modelo de simulación hidráulica y de curvas de remanso en régimen estacionario, unidimensional, encauces naturales y canales. Instituto de Estudios Ambientales – IDEA. Grupo de Trabajo Académico en Ingeniería Hidráulica y Ambiental. Manizales, Noviembre de 2006.

## **4. METODOLOGIA**

### **4.1 FUENTES DE INFORMACION**

Se consultaron experiencias relacionadas con la modelación hidrodinámica en sistemas de drenaje local, tales como, las efectuadas por la Universidad del Valle, la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca – C.V.C., el Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente – DAGMA y la Escuela de Ingeniería y de los Recursos Naturales y del Ambiente – EIDENAR, algunas tesis de pregrado y postgrado entre otras, las cuales se encuentran debidamente relacionadas en la bibliografía utilizada como soporte y referenciada alfabéticamente.

El estudio del modelo conceptual y los submodelos relacionados con la modelación hidrodinámica del sistema de drenaje aplicados en el programa EPA SWMM 5.0 y HECRAS v3.1.3, se llevó a cabo con una revisión bibliográfica del manual del usuario versión 5 que explica los modelos empleados por el programa, complementándose con la revisión de investigaciones relacionadas con los modelos conceptuales utilizados por el software en cuanto a hidrología y sistemas de alcantarillado.

### **4.2 APLICACIÓN DEL MODELO EPA SWMM 5.0**

Dando coherencia a los requerimientos de información y al objetivo específico de éste trabajo relacionado con la determinación de las zonas de inundación, se realizó la introducción de la topografía de cada una de las secciones transversales sobre el Río Cali, distribuidas entre la Clínica de los Remedios y su desembocadura al Río Cauca. Se introdujeron los datos de cada una de las secciones transversales sobre el Río Cali y sobre cada uno de los canales

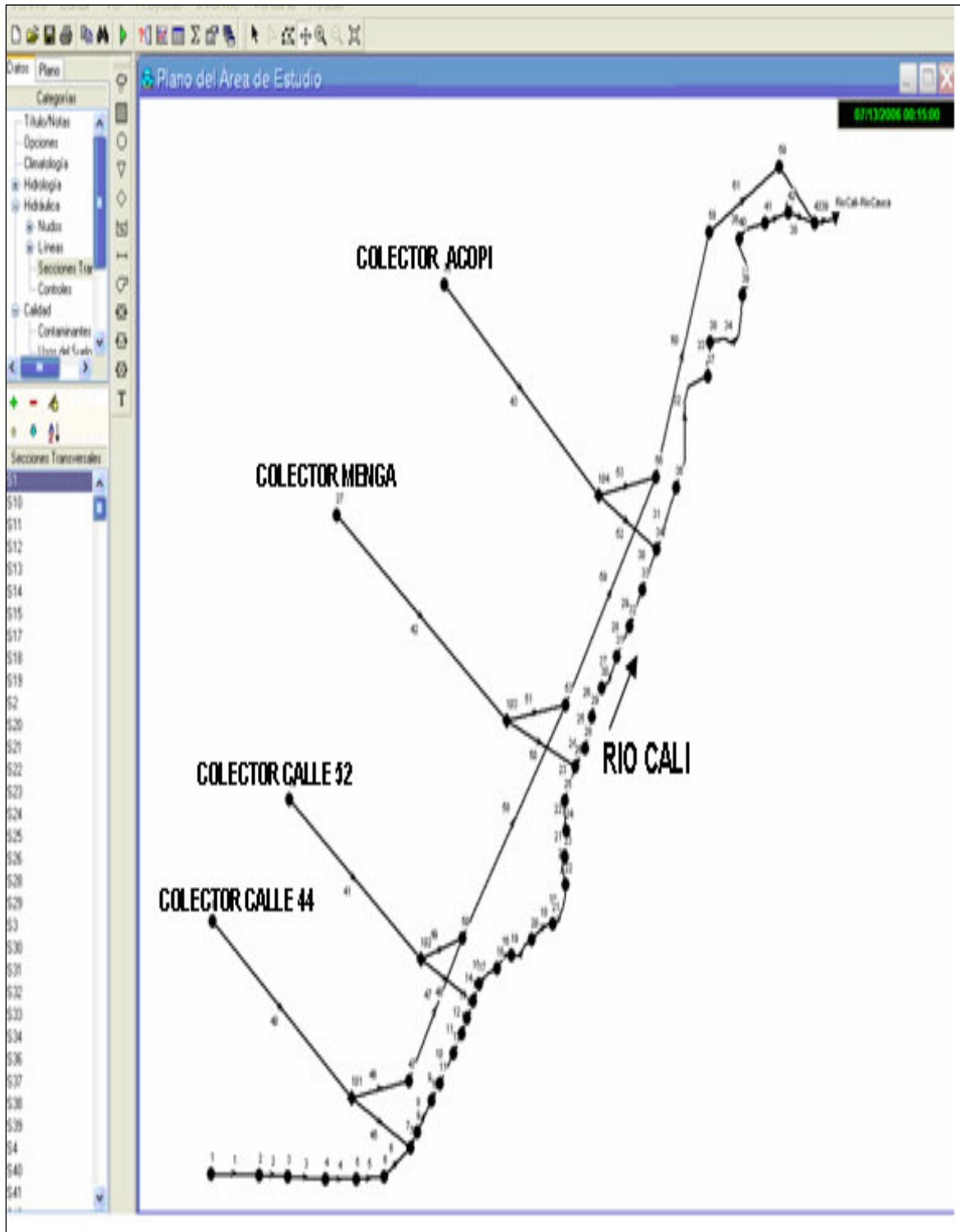
teniendo en cuenta los coeficientes de rugosidad, las cotas de delimitación de la banca, la pendiente y la longitud entre secciones, los cuales fueron extraídos en su totalidad del trabajo *“Levantamiento topográfico y diseño de las obras de control de inundaciones del Río Cali en el sector norte de la ciudad”* (referencia 1).

También se suministraron los caudales del Río Cali y de cada uno de los canales de aguas lluvias que vierten a él, siendo éstos los Canales de la Calle 45, Calle 52, Menga y Acopi. (referencia 2)

#### **4.3 PROCESO DE MODELACIÓN EPA SWMM 5.0**

La figura 2 corresponde a la presentación general del área en estudio con todos los componentes (secciones transversales, canales de aguas lluvias, estructuras de separación con derivación al colector sanitario margen izquierda del Río Cali desde la Clínica de Los Remedios (Nudo 1) hasta la desembocadura del Río Cali al Río Cauca (Nudo 42)) introducidos de manera ascendente y secuencial. Las secciones transversales se identifican con puntos y los conductos con líneas.

**Figura 2. Esquema general del proyecto modelo EPA SWMM 5.0**



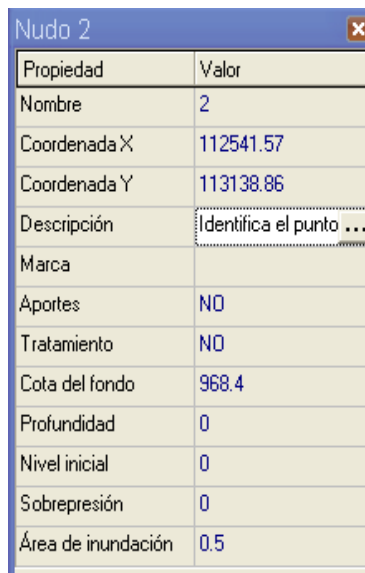
*Fuente: EPA SWMM 5.0*



En el plano general, los nudos se representan con un punto, el cual identifica el posicionamiento de una sección transversal y cada nudo va articulado a través de un conducto que en conjunto delimitan el recorrido del Río Cali y de los canales que a lo largo de su trayectoria realizan su aporte al mismo.

A manera de ejemplo, en la tabla 1 se muestra la pantalla de identificación del nudo No.2, que corresponde al punto de localización espacial de la sección transversal No.2.

**Tabla 1. Identificación de un nudo**

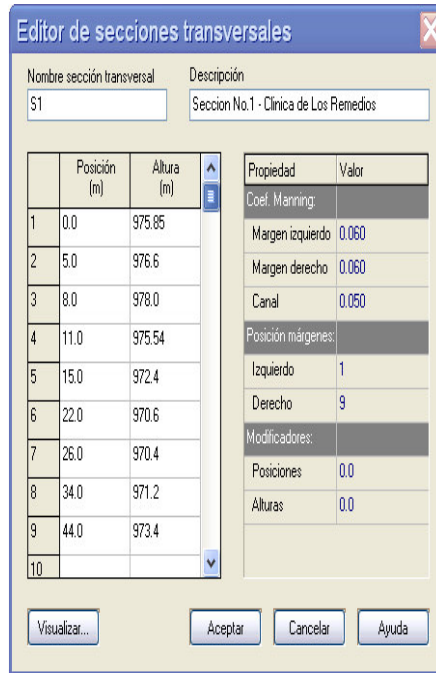


Propiedad	Valor
Nombre	2
Coordenada X	112541.57
Coordenada Y	113138.86
Descripción	Identifica el punto ...
Marca	
Aportes	NO
Tratamiento	NO
Cota del fondo	968.4
Profundidad	0
Nivel inicial	0
Sobrepresión	0
Área de inundación	0.5

*Fuente: EPA SWMM 5.0*

En la tabla 2, se presenta el pantallazo donde se introduce la información topográfica de cada una de las secciones transversales sobre el Río Cali para el área en estudio, para éste caso se empleó la sección No.1 que corresponde al inicio de la zona en análisis el cual se identificó como la Clínica de Los Remedios.

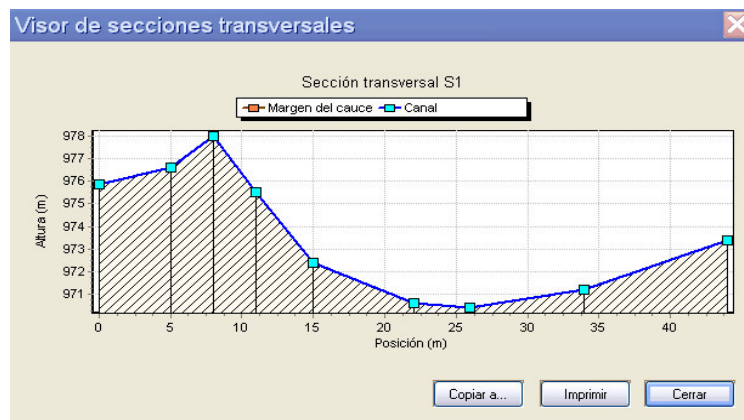
**Tabla 2. Editor de secciones transversales**



*Fuente: EPA SWMM 5.0*

La figura 3 permite visualizar la sección No.1, (identificada en la tabla 2) como producto de los datos topográficos introducidos y requeridos para conformar el esquema general que constituye la figura 3.

**Figura 3. Visor de secciones transversales**



*Fuente: EPA SWMM 5.0*

Los conductos dentro del esquema general se representan con una línea, el No.5 permite la unión entre las secciones transversales No.4 y No.5 (ubicadas en el tramo comprendido entre la Clínica de Los Remedios y el Canal de la Calle 44) y es fundamental para llevar a cabo el tránsito del caudal (ver tabla 3).

**Tabla 3. Modo de introducción de un conducto**

Propiedad	Valor
Nombre	5
Nudo inicial	5
Nudo final	6
Descripción	
Marca	
Forma	IRREGULAR
Profundidad	3.599975585937E
Lengitud	40
Coefficiente Manning	0.030
Desnivel Entrada	0
Nombre asignado por el usuario al conducto	

*Fuente: EPA SWMM 5.0*

#### **4.4 PROCESO DE MODELACIÓN HECRAS V3.1.3**

La esquematización geométrica del tramo de estudio consta de 39 secciones transversales con una separación media de 125.6 m (min. 22.0 m y máx. 385.4 m) que abarcan un tramo de 4772 m, enmarcada desde la desembocadura del Río Cali al Río Cauca hasta el sector de la Clínica de Los Remedios. Cada una de las secciones transversales fue introducida teniendo en cuenta su geometría y la distancia entre una y otra. El ancho medio de éstas secciones es del orden de los 40 m y las secciones fueron obtenidas del levantamiento topográfico presentado en el estudio “Levantamiento topográfico y diseño de las obras de control de inundaciones del río Cali en el sector norte de la ciudad” (Torres, 2003). Posteriormente, con las herramientas de interpolación de HECRAS, se generaron nuevas secciones intermedias con distancias entre sí no mayores a 50 m. Esto

con el propósito de reducir los errores en el cálculo de pérdidas de energía del flujo por expansión/contracción y por fricción con la frontera sólida.

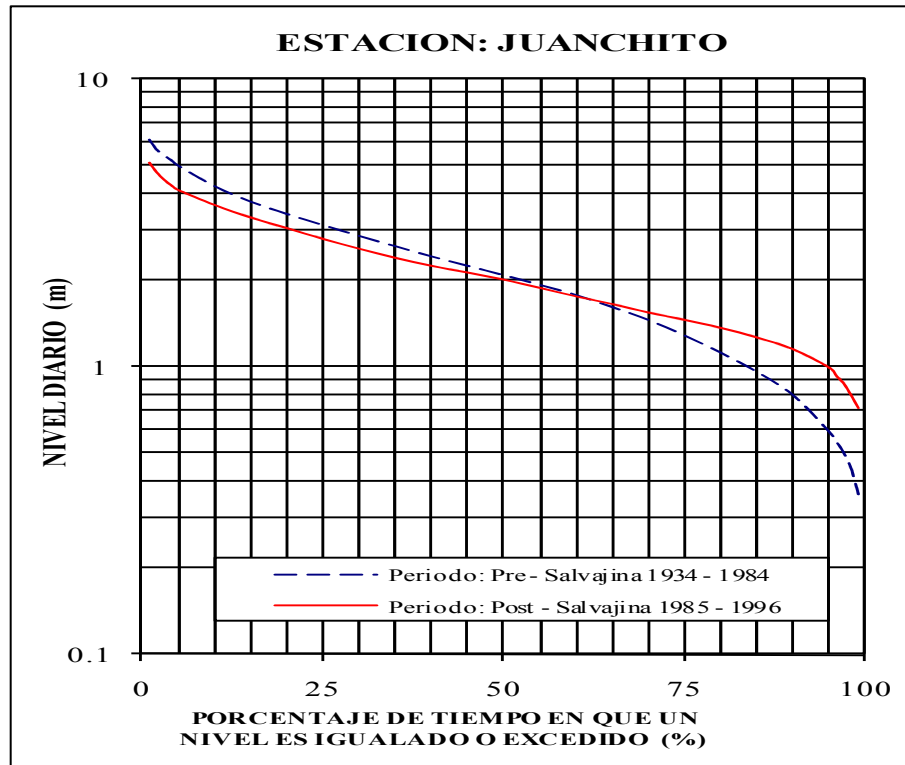
Los valores del coeficiente de rugosidad de Manning para todo el canal fueron definidos de acuerdo con los valores usados por Torres (2003) para la simulación de crecientes del río Cali, esto es 0.050 en el canal principal y 0.060 en las zonas de desbordamiento (*overbanks*). Por otra parte, se conservaron los valores por defecto de los coeficientes de pérdidas de expansión/contracción, es decir 0.3 y 0.1, respectivamente.

**4.4.1 Condiciones de Flujo.** Para cumplir el objetivo de éste trabajo se definieron cuatro (4) escenarios o perfiles bajo condiciones de flujo permanente (esto es, constante en el tiempo). Cada uno de ellos corresponde al caudal máximo del río Cali para los periodos de retorno ( $T_r$ ) de 5, 10, 20 y 50 años. De acuerdo con las estimaciones realizadas (Delgado y Pulido, 2005) los caudales en la sección ubicada en el extremo superior del tramo modelado son 35.2, 89.0, 115.0 y 155.0  $m^3/s$ , respectivamente, los cuales permanecen invariables bajo el supuesto que los aportes de los canales de drenaje son despreciables.

Puesto que se trata del tramo más bajo del río Cali, donde la pendiente del cauce es baja y el régimen de flujo es subcrítico, los cálculos de las cotas de inundación deben considerar el efecto de remanso producido por el río Cauca cuando éste presenta niveles altos. Por ésta razón, se estableció como condición de frontera inferior el nivel de agua en el río Cauca que es igualado o superado el 25% del tiempo, es decir el nivel  $H_{25}$  de la curva de duración de niveles de agua en la estación hidrométrica Juanchito (Nivel de agua = 945.35 m) (Figura 4). Las simulaciones se realizaron considerando que el régimen de flujo en todo el tramo sería subcrítico ( $Fr < 1.0$ ), lo cual fue corroborado con los resultados obtenidos y relacionados en el Anexo A.

**Figura 4. Curva de duración de los niveles diarios en la estación hidrométrica Juanchito, Río Cauca**

**Nota: Nivel de cero de mira = 942.572 m.s.n.m.**



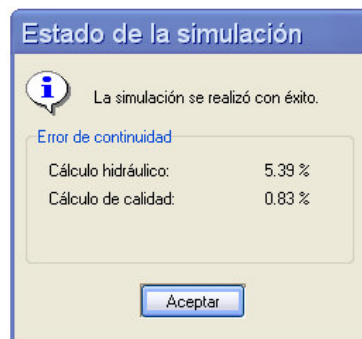
**Fuente:** CVC – Universidad del Valle (2005)

## 5. ANALISIS DE RESULTADOS

### 5.1 MODELO EPA SWMM 5.0

De acuerdo a los datos obtenidos en la calibración del modelo (ver tabla 4), producto de la simulación del modelo EPA SWMM 5.0 y una vez extraídos los gráficos del mismo, se pueden realizar los siguientes análisis:

**Tabla 4. Resultado de la simulación**



*Fuente: Modelación EPA SWMM 5.0*

Cuando la simulación se completa con éxito los errores totales de continuidad, itinerario de flujo e itinerario de los contaminantes, se visualizan en la ventana de simulación, éstos errores representan la diferencia en porcentaje entre el almacenaje inicial más el flujo que entra y el almacenamiento final más el flujo que sale, si ésta diferencia excede el nivel razonable (sobre un 10%), los resultados de la simulación deben ser revisados.

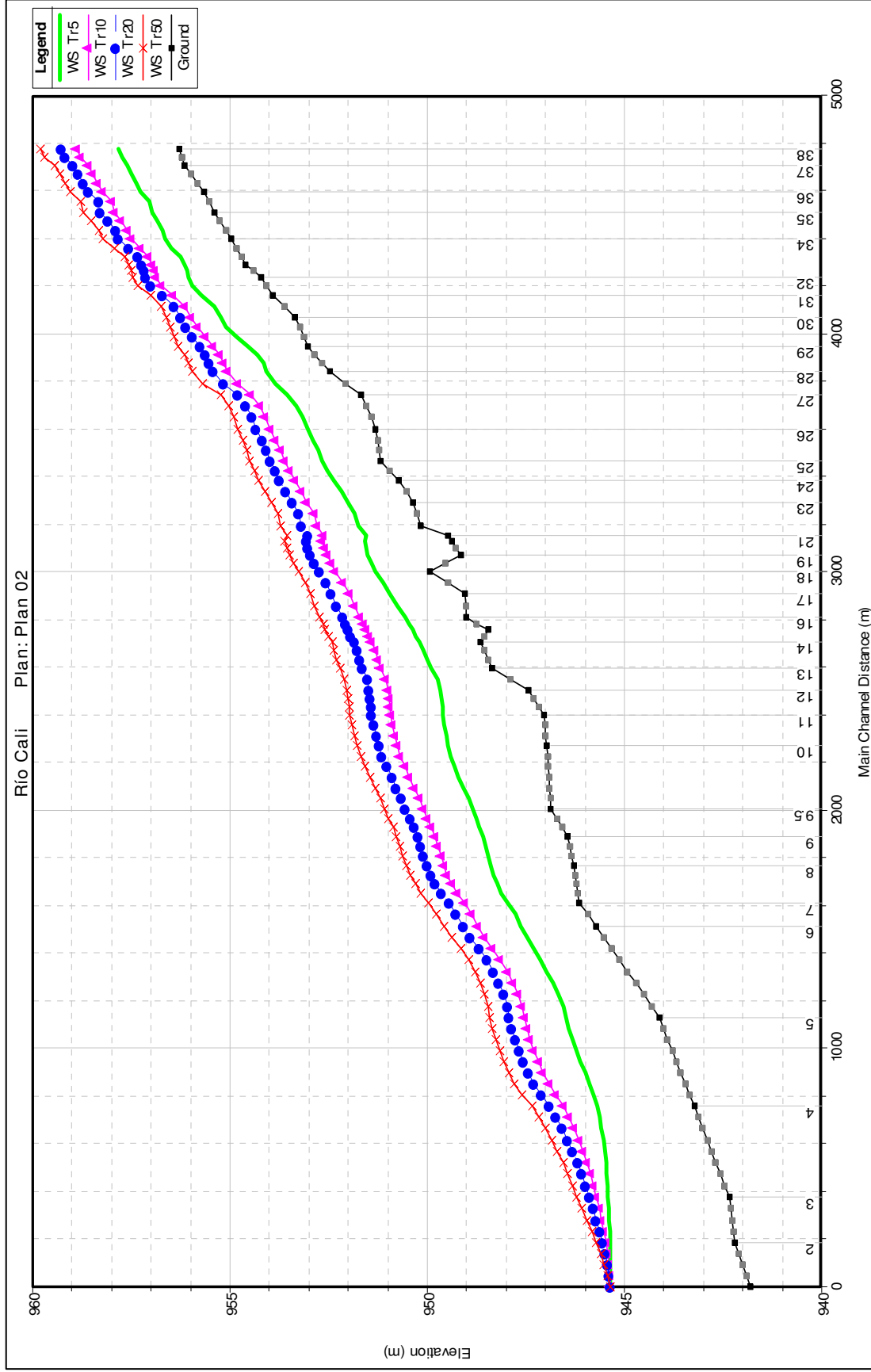
Una vez efectuada la simulación hidráulica, se aprecia que el error de continuidad obtenido es bajo (5.39%), lo cual demuestra que los datos introducidos al modelo son coherentes con el sistema analizado y satisfacen los requerimientos del mismo.

## **5.2 Modelo HECRAS v3.1.3**

### **5.2.1 Niveles de Agua.**

Mediante la utilización del modelo y conforme la introducción de caudales máximos para periodos de retorno de 5, 10, 20 y 50 años, cuyos valores corresponden a: 35.2 m<sup>3</sup>/s, 89.0 m<sup>3</sup>/s, 115.0 m<sup>3</sup>/s y 155.0 m<sup>3</sup>/s, respectivamente, se logró la determinación del perfil longitudinal que se muestra en la figura 5. En ésta figura los diferentes niveles de la superficie del agua (WS) asociados a cada periodo de retorno (Tr), al igual que la línea de fondo (Ground), se diferencian por colores así: la línea gris representa el terreno, las líneas verde, fucsia, azul y rojo el nivel agua para los periodos de retorno 5, 10, 20 y 50 años, en estricto orden ascendente.

Figura 5. Perfil longitudinal Rio Cali para diferentes periodos de retorno – Modelo HEC – RAS



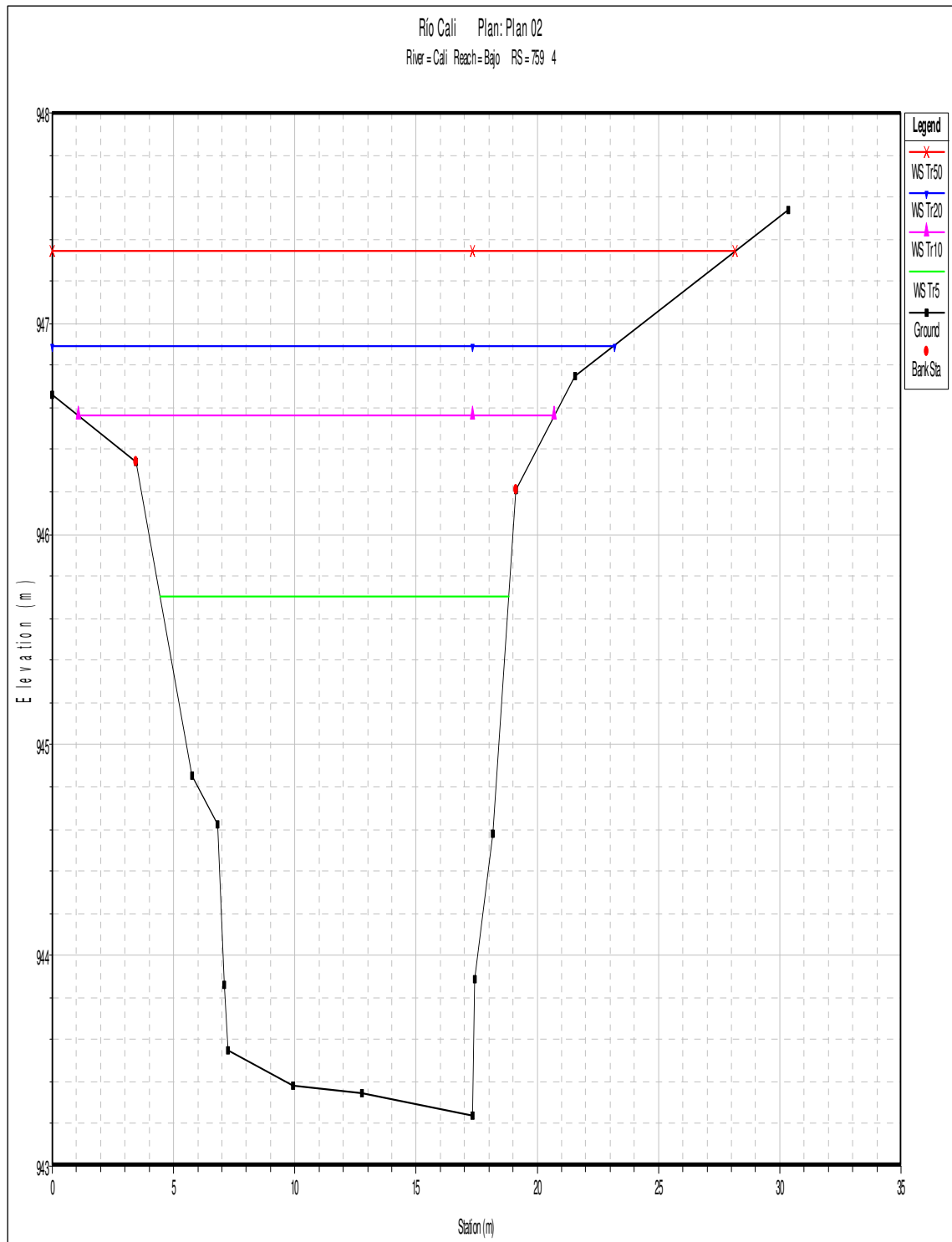


La línea en color gris representa el terreno, las líneas verde, fucsia, azul y rojo el nivel agua para los periodos de retorno 5, 10, 20 y 50 años, en estricto orden ascendente.

En la figura 5, se destaca el efecto de remanso generado por el río Cauca, el cual determina la condición de frontera inferior. La longitud del tramo afectado por éste represamiento es mayor para los caudales menores, especialmente para la creciente con periodo de retorno de 5 años. Esto se debe a que los niveles de agua en la frontera inferior, es decir los determinados por el Río Cauca, son significativamente superiores a las profundidades normales de los caudales más bajos del río Cali. Mientras que en las profundidades asociadas con los caudales de los periodos de retorno de 20 y 50 años del río Cali, la diferencia se disminuye con relación al Río Cauca.

La primera sección desbordada se encuentra en la abscisa K0+759 (sección 35 – zona barrio Floralia) donde los niveles de agua para los periodos de retorno ( $T_r$ ) de 20 y 50 años superan la banca izquierda del cauce (Fig. 6), correspondiendo a una cota de 946.90 m y 947.35 m, respectivamente.

**Figura 6. Sección transversal No.35**

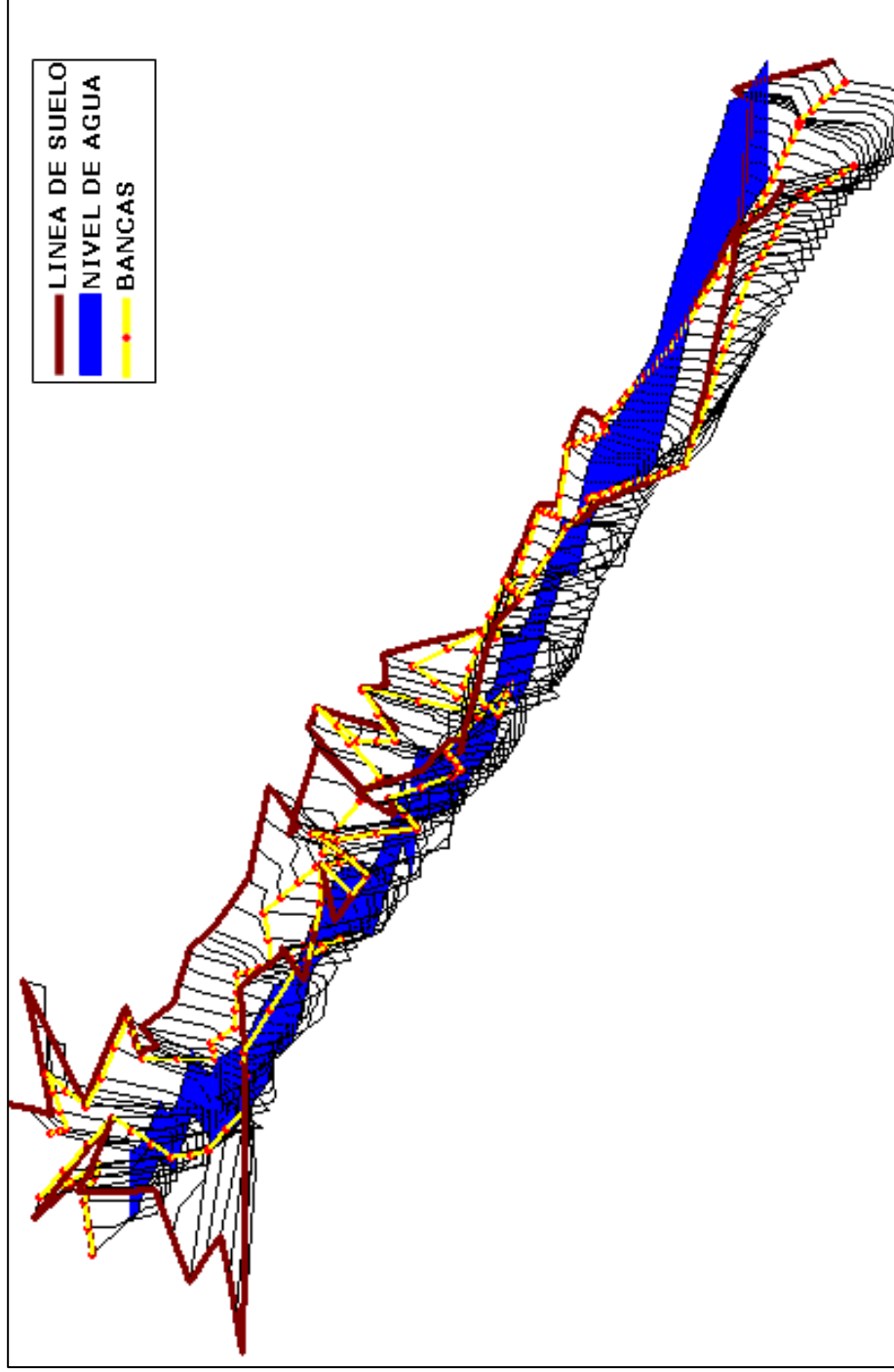


Fuente: HEC – RAS

Se concluye, de acuerdo a las simulaciones efectuadas con el modelo HEC RAS, que el cauce principal del Río Cali en el tramo de estudio, con una condición de remanso no extrema causada por el río Cauca, tiene la capacidad suficiente para contener el tránsito de caudales máximos con periodos de retorno de 5 y 10 años (Fig.7 y Fig.8).

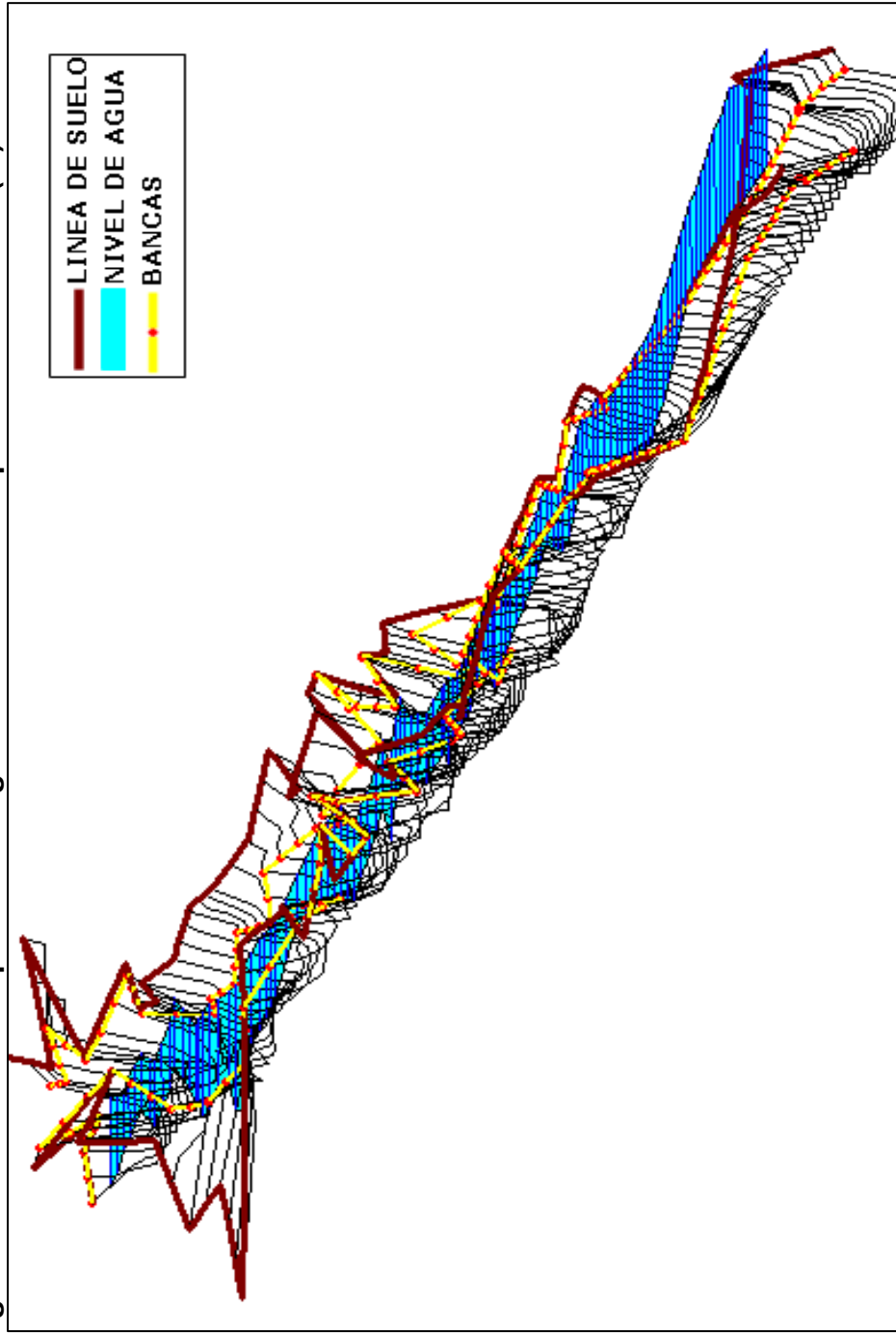
Sin embargo, en algunas secciones se presentan desbordamientos puntuales en el Río Cali, con niveles de agua de las crecientes de frecuencias más bajas (1:20 y 1:50 años) que superan la banca del río, tanto por la margen derecha como para la izquierda. Las figuras 7, 8, 9 y 10, presentan estos desarrollos específicos, que corresponde a la zona de la Calle 70 del norte de la ciudad de Cali y parte de la zona industrial del municipio de Yumbo. El detalle de los datos introducidos se muestran en el Anexo A y en el B, el Mapa de inundación de la zona de confluencia de los Ríos Cali y Cauca.

Figura 7. Vista 3D de los perfiles de agua en el río Cali con periodo de retorno de 5 Años



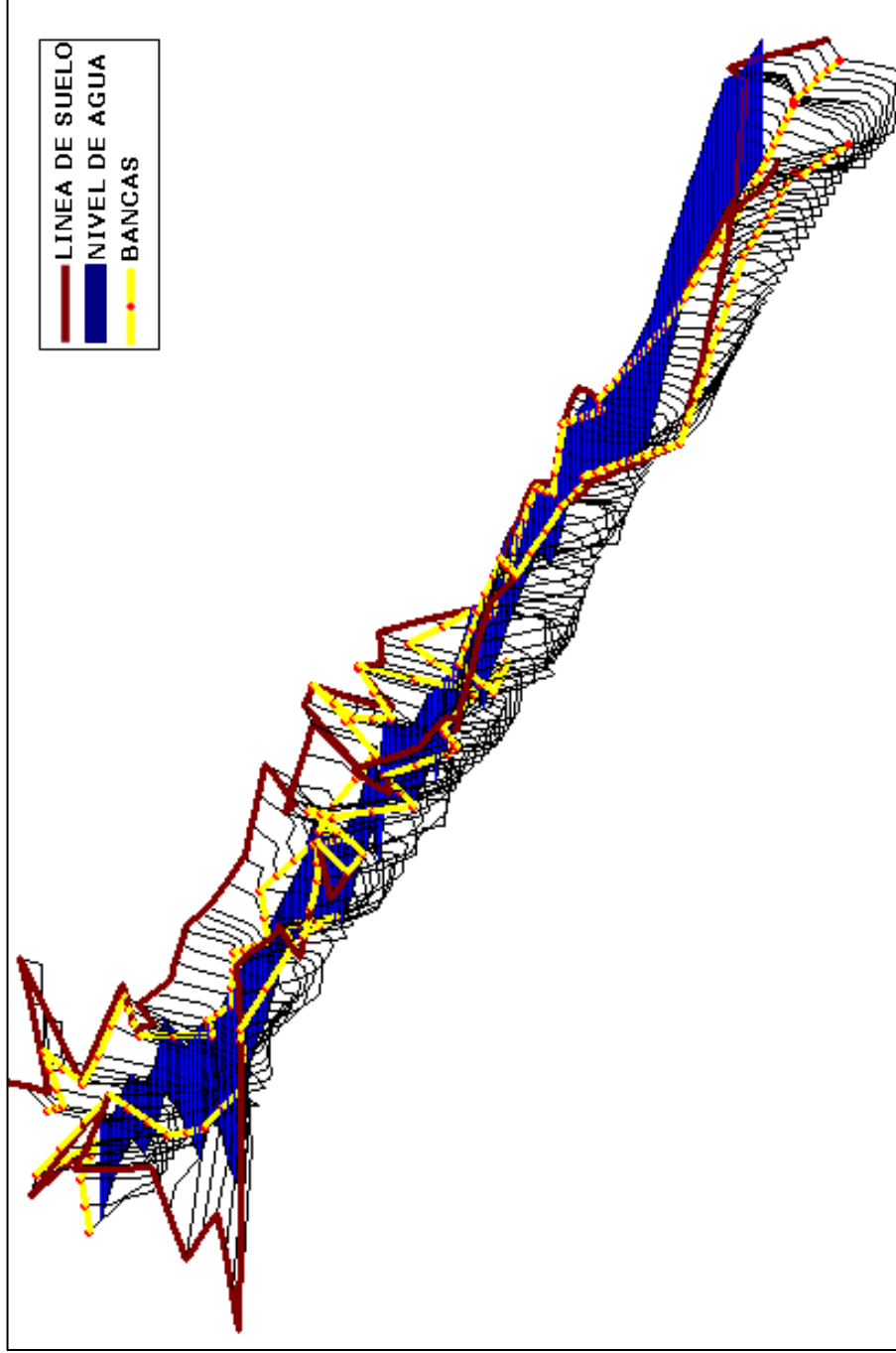
Fuente: Modelo HEC RAS

Figura 8. Vista 3D de los perfiles de agua en el río Cali con periodo de retorno de 10 Años



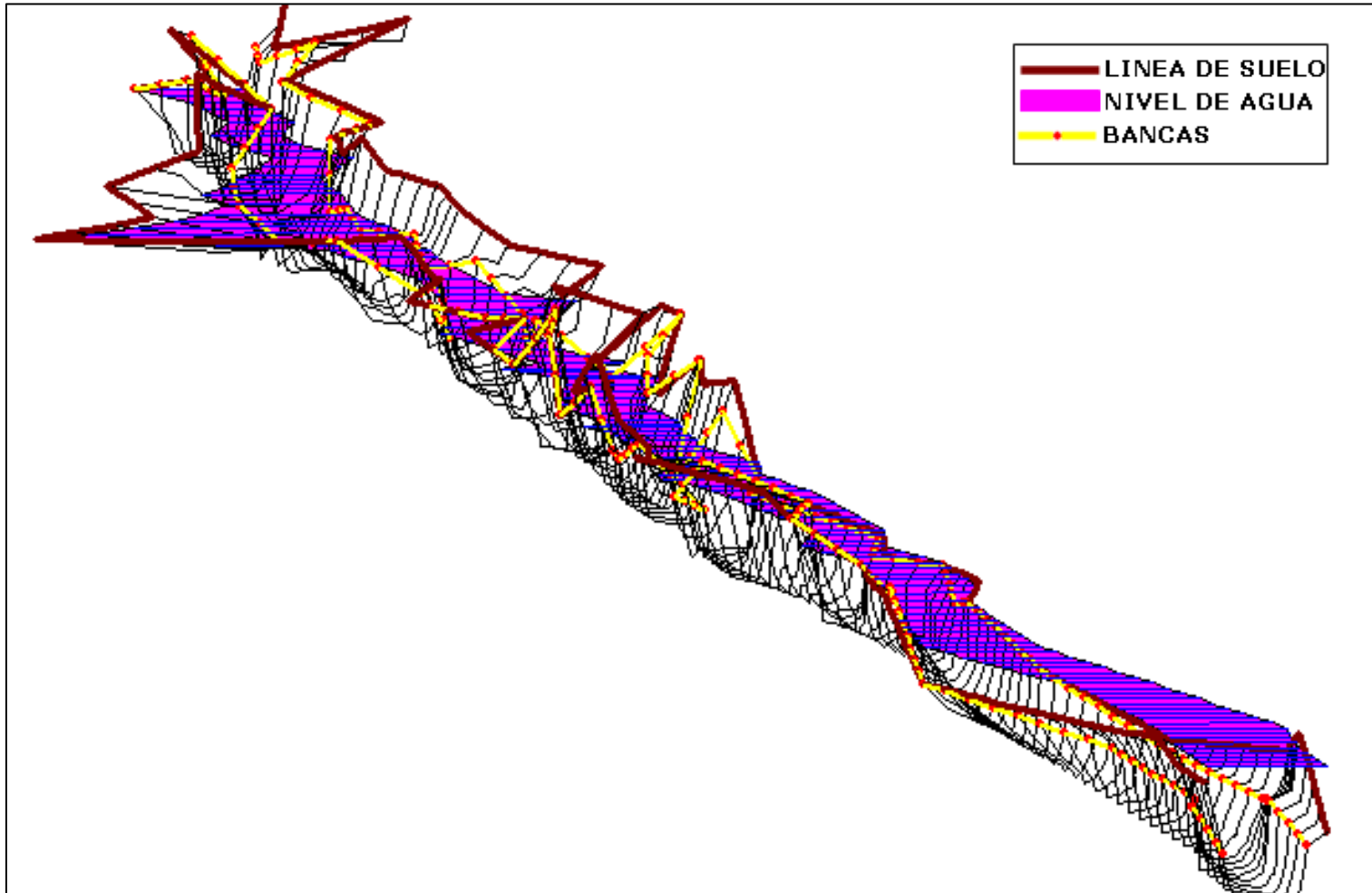
Fuente: Modelo HEC RAS

Figura 9. Vista 3D de los perfiles de agua en el río Cali con periodo de retorno de 20 Años



Fuente: Modelo HEC RAS

Figura 10. Vista 3D de los perfiles de agua en el río Cali con periodo de retorno (Tr) de 50 Años



Fuente: Modelo HEC RAS

Conforme los datos obtenidos del tránsito de caudales sobre el Río Cali (Anexo A), en la zona de estudio, se define que desde la descarga del Canal Acopi y hasta la desembocadura al Río Cauca se presenta rebose por ambos márgenes del río a partir del periodo de retorno de 20 años, superándose la cota de inundación definida en 952.28 m. Lo anterior, es complemento del plano de zonas de inundación que constituye el Anexo B.

### **5.3 RIESGO POR INUNDACIÓN**

El mapa de riesgo por inundación fue construido a través de los resultados obtenidos en la modelación y del levantamiento de imágenes de satélite detalladas, que identifican el área de estudio desde La Clínica de los Remedios, hasta la desembocadura del Río Cali al Río Cauca. Las imágenes satelitales, extraídas a través de Google Earth, se superpusieron sobre el plano digital del levantamiento cartográfico del área urbana de la ciudad de Cali con el sistema hídrico y la identificación de curvas de nivel hasta la Calle 70 Norte, suministrado por la Oficina de Planeación Municipal y desde la Calle 70 Norte hasta la desembocadura del Río Cali al Río Cauca se utilizó la cartografía obtenida de funcionarios de la Alcaldía de Yumbo, debido a que éste sector se encuentra dentro de la jurisdicción de dicho municipio. Posteriormente, sobre el plano se localizaron las cotas de inundación obtenidas del trabajo de tesis “Modelación Hidrodinámica del sistema de drenaje urbana de la ciudad de Cali en el área de influencia del Río Cali” para periodos de retorno equivalentes a 25, 50 y 100 años (ver mapa del Anexo B).



## **6. PROPUESTA DE GESTION AMBIENTAL**

### **6.1 PROPUESTA DE GESTIÓN PARA EL CONTROL DEL RIESGO POR INUNDACIÓN**

Gestión del riesgo es la tarea de actuar adecuadamente sobre el riesgo con el fin de evitarlo o mitigarlo. Comprende tanto actividades de prevención, mitigación, preparación, y transferencia; que se ejecutan antes de la ocurrencia del evento potencialmente peligroso, como aquellas de atención y rehabilitación en caso de desastre. Incluye aspectos técnicos, políticos, sociales y económicos relacionados estrechamente con el ordenamiento territorial, la gestión ambiental y el desarrollo sostenible.

Conforme resultados obtenidos en la tesis “Modelación Hidrodinámica del sistema de drenaje urbano de la ciudad de Cali en el área de influencia del Río Cali” y de la modelación realizada en este documento, las cotas de inundación del río serían superadas para periodos de retorno (TR) superiores a 20 años, por lo cual para controlar las zonas de inundación para TR igual a 20 y 50 años se plantean medidas de control teniendo en cuenta que la Ciudadela Floralia es la mayor aportante del problema y por supuesto la más vulnerable por estar densamente poblada, por contar con pocas vías de acceso vehicular y por poseer una distribución de viviendas en estrechos pasajes peatonales, por contar con vías muy angostas con muy pocos sumideros que represan la evacuación de fuertes precipitaciones.

Por lo anterior, se llevó a cabo la toma de imágenes de satélite con cobertura desde La Clínica de los Remedios hasta la desembocadura del Río Cali y con un plano cartográfico digital de la ciudad de Cali, con detalle urbanístico, con curvas de nivel y con el sistema hídrico se delimitaron las zonas de inundación que

afectan el Norte del Municipio de Santiago de Cali y la Zona industrial del Municipio de Yumbo (Anexo B).

### **6.1.1 Puntos Críticos Expuestos**

Dentro del área en estudio, se identificaron y clasificaron en tres (3) grupos los elementos expuestos más representativos para la vida y sostenibilidad de la zona noroccidental del Municipio de Santiago de Cali (p. ej. líneas vitales, edificaciones y estructuras esenciales, edificaciones de ocupación normal o habitacional, etc.), con base en características comunes y funcionales, siendo éstos:

#### **GRUPO A. Líneas vitales**

1. Sistema de acueducto: Redes principales y estructuras hidráulicas principales.
2. Sistema de alcantarillado: Redes principales y estructuras hidráulicas principales.
3. Sistema vial: Red principal (puentes principales), Sistema de Transporte Masivo, estructura principales del sistema.
4. Sistema eléctrico: Redes principales, subestaciones y estructuras principales.

#### **GRUPO B. Edificaciones esenciales**

1. Edificaciones Indispensables: Hospitales, puestos de salud, clínicas.
2. Edificaciones de atención a la comunidad: Policía, FFMM, Cruz Roja, Bomberos, Defensa Civil.

3. Edificaciones, estructuras y espacios de ocupación especial: Estadio, coliseo, gobernación, alcaldía, escuelas, colegios, universidades, iglesias, centros comunales, depósitos de alimentos (plazas de mercado, supermercados, centrales de abasto y grandes superficies), espacios públicos (parques, zonas verdes) y edificaciones industriales.

#### GRUPO C. Edificaciones de uso habitacional

1. Población
2. Vivienda

Dentro de la zona de interés, el sector más crítico es la comuna 6 donde habitan 130.645 personas, en 33.105 viviendas, constituyendo 35.215 familias (3.71 pob/viv, y 1.06 hog/viv). La comuna está compuesta por 14 barrios así: San Luís I y II, Jorge Eliécer Gaitán, Paso del Comercio, Los Alcázares, Petecuy Etapas I, II y III, La Rivera I, Los Guadales, Ciudadela Floralia, Fonaviemcali, Urbanización Calimio y Sector Puente del Comercio). En ésta comuna prevalecen los barrios de estrato socioeconómico 2 (78.6%) y el porcentaje restante corresponde al estrato 3 (21.4%).

La comuna cuenta con seis (6) instituciones de salud así: cuatro (4) puestos de salud - **P.S.:** San Luís I, Petecuy II y III y Floralia y dos (2) centros de salud - **C.S.:** Floralia y San Luís II), cuarenta y seis (46) establecimientos de educación preescolar, cuarenta (40) de educación primaria, veintitrés (23) de educación secundaria y media, dos (2) inspecciones, una (1) estación de policía, un (1) centro de atención inmediata y un (1) centro de administración local integrada - CALI. (*Cali en cifras 2008*).

Los barrios más afectados por inundabilidad dada su proximidad a la confluencia de los ríos Cali y Cauca son específicamente la Ciudadela Floralia, Paso del Comercio y parcialmente los barrios Puente del Comercio y Los Guadales cuya área está delimitada por la Calle 70 y la Autopista a Palmira, para cuya determinación se empleó el mapa *“Afectación por inundación del sistema vial para la elaboración del Plan Local de Emergencia y Contingencias – PLEC’s de Santiago de Cali 2009 (Esc. 1:20000)” (Anexo C)*.

También, se utilizó la herramienta DesInventar de la Corporación OSSO, para establecer el número de casos de inundación que se han presentado en éste sector entre 1950 y 2000 estando éstos entre 10 y 100 casos donde ya se vislumbraba la problemática (*Anexo D*), a pesar de no haberse introducido la estadística de la última década.

La afectación de inundación por densidad de habitantes/Km<sup>2</sup> y de viviendas/Km<sup>2</sup> en la comuna 6 es de 33.402 habitantes y 7.645 viviendas, respectivamente (*Cali en cifras 2008*).

El efecto de inundación genera adicionalmente pérdida de la prestación del servicio vial y obstaculiza la movilidad (MIO, INFRAESTRUCTURA VIAL, TUBERIA MADRE), por interacción del fenómeno y los elementos expuestos al riesgo identificados en orden de importancia como: los habitantes, la infraestructura y las viviendas.

En consecuencia, surge la necesidad de ampliar la capacidad de los colectores y mejorar las condiciones de drenaje de los existentes, para que en los periodos invernales el sistema cuente con la suficiente capacidad de evacuación lo cual es responsabilidad de EMCALI EICE ESP, como única empresa prestadora del servicio en la ciudad.

### **6.1.2 Construcción de Escenarios de Afectación por Inundación Para el Municipio de Santiago de Cali.**

La representación espacial de los escenarios de afectación asociado a las amenazas por inundación corresponde a los períodos de retorno 5, 10, 20 y 50 años obtenidos en la modelación y de los niveles de vulnerabilidad de los elementos expuestos para la ciudad de Santiago de Cali son la base fundamental para el planeamiento de la respuesta y la recuperación en la cual se enmarca el plan local de emergencia y contingencias plec's.

Estos escenarios se construyen mediante análisis cualitativos o semi – cuantitativos, combinación de diversos factores propios de las amenazas y la vulnerabilidad identificada a partir del criterio experto y/o reglas de decisión, realizando la división del territorio en zonas de acuerdo con grados de valoración definidos a partir de un conjunto de parámetros establecidos, aplicando modelos cartográficos de SIG, teniendo en cuenta la información existente y disponible de eventos históricos de precipitación y tránsito de caudales. La escala de resolución para el cual se trabajan los resultados está a nivel de comuna.

Dentro de los objetivos de la construcción de escenarios expuestos se detallan:

- Identificación de elementos (población, viviendas, instituciones de salud, educativas, sistema de acueducto, alcantarillado, vial y eléctrico)
- Inventario de elementos (censo de población afectada, inspección de redes de acueducto, alcantarillado y vías averiadas).
- Ubicación espacial de los elementos (análisis de manzanas o unidades habitacionales afectadas por la inundación, infraestructura en general).
- Caracterizar las amenazas y vulnerabilidades/exposición. (descripción, mapas de afectación de acuerdo al impacto del evento).
- Identificar personas y recursos en riesgo (elementos expuestos).

- Caracterizar los actores sociales y los recursos existentes.
- Tener una visión global de ROLES e INTERACCIONES para identificar prioridades en la ruta crítica de intervenciones a desarrollar.

### **6.1.3 Plan de Mitigación de Riesgos en Cali**

Las actividades de mitigación, prevención y atención de emergencias por inundaciones que se adelantan en la ciudad incluyen, entre otras:

- Campañas de educación y reforestación en comunidades rurales y suburbanas.
- Mantenimiento de las redes de alcantarillado y de los caños y canales.
- Ampliación de caños y canales colectores.
- Dotación de motobombas en barrios localizados bajo el nivel de crecientes.
- Construcción y mantenimiento de jarillones.
- Formación de líderes comunitarios en prevención y atención de emergencias por inundación.
- Emplazamiento y operación de plantas de bombeo.

El potencial de inundaciones está asociado a diversidad de fenómenos tales como:

- Obstrucción de drenajes por sedimentación y basuras.
- Lluvias intensas.
- Avenidas torrenciales de los ríos que drenan al Rio Cauca.
- Obstrucción o deterioro y ruptura de tuberías subterráneas de gran diámetro, o de canales de aguas lluvias.
- Períodos lluviosos que superan los niveles de regulación de presas y los

niveles de los jarillones.

- Ruptura de jarillones por crecientes, por actividad humana o por sismos.
- Deficiencia o daño en plantas de bombeo.

Es importante aunar esfuerzos técnicos y financieros en capacitación para el fortalecimiento institucional y comunitario en gestión del riesgo por inundación a organizaciones sociales e integrantes del comité local de prevención y atención de desastres – CLOPAD(Comité Local de Prevención y Atención de Desastres), el cual se ha preocupado primordialmente en la ciudad por el control del riesgo por deslizamientos. (Referencia 8).

#### **6.1.3.1 Propósitos del Plan en La Comuna 6 y Aledañas**

##### **Propósito 1. Fortalecimiento de las capacidades locales para la gestión de riesgo por inundación.**

Es necesario llevar a cabo la consolidación de redes interinstitucionales de apoyo a la gestión local del riesgo en la comuna 6 y aledañas. El programa pretende impulsar la formación de redes para la prevención y atención de emergencias.

Por ende es importante fortalecer la gestión local y municipal para el desarrollo de una agenda concertada entre entidades como: el Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente – DAGMA, Empresas Municipales de Cali – EMCALI EICE ESP, EMSIRVA, la Corporación Autónoma del Valle del Cauca – C.V.C., el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM, los Bomberos, la Cruz Roja, la Defensa Civil, el Comité Local de Prevención y Atención de Desastres - CLOPAD entre otras, para apoyar la prevención y atención de riesgos ambientales por inundación (evitar taponamiento del sistema

de alcantarillado por manejo indebido de residuos sólidos o basuras, barrido de calles sin la respectiva disposición de tierra, arena y piedras y proteger al lecho del río de llenarse de sedimentos, roncós o materiales que impidan el libre tránsito del recurso) con los actores directamente afectados (intervención de la comunidad o juntas de acción comunal de los barrios expuestos).

Adicionalmente, existirá coordinación y capacitación de los miembros de las redes formadas (juntas de acción comunal JAC's), así como la población involucrada en la gestión local del riesgo para mitigar efectos ambientales y hacerlos partícipes de actividades que permitan la seguridad de la población y la puesta en marcha de medidas preventivas.

Debe existir un directorio con números telefónicos y direcciones de grupos de actores y/o habitantes capacitados para atender emergencias, redes de informantes de emergencias que se presenten desde la parte alta a la más baja de la cuenca e instalación de alarmas sonoras, además de jornadas de limpieza periódica de las redes y estructuras por parte de la comunidad y empresas responsables y capacitación a los habitantes sobre cómo construir barreras temporales de inundación que le permita a la comunidad empoderarse de las características y peligrosidad de su cuenca y no permitir asentamientos (invasiones) en las áreas de inundación establecidas para periodos de recurrencia de 20 y 50 años

## **Propósito 2. Implementación de programas para la reducción de riesgos**

Es indispensable desarrollar el sistema de alerta en la comunidad afectada, elaborando diagnósticos y planes de acción local frente a las amenazas propias de la población donde se tengan en cuenta los siguientes programas:

- Promoción del desarrollo del conocimiento sobre riesgos de origen natural o antrópico (fenómenos y pronósticos hidrometeorológicos – invasión de zonas



ribereñas).

- Incorporación del manejo de riesgos (prevención y mitigación) dentro de la planificación territorial (Plan de Ordenamiento Territorial y Plan de Desarrollo Departamental).
- Mejoramiento de las prácticas y los mecanismos para alerta y respuesta (utilización de señal de alarma establecida por el Comité de Emergencias o acordada entre vecinos para identificar el peligro inminente de una crecida).
- Formación de recursos humanos, educación y capacitación (establecer un día, una hora y un sitio de reunión para que la comunidad y las entidades especializadas en la temática concurren a talleres teórico-prácticos que contribuyan a la concientización de la población sobre el impacto del evento).
- Fortalecimiento de las capacidades interinstitucionales en gestión del riesgo (asignación de recursos económicos que permitan la realización de programas de prevención del riesgo con la comunidad y que garantice la continuidad de los mismos).

Dentro de las actividades a desarrollar en los programas se debe brindar asistencia técnica para la ejecución de obras de mitigación y prevención del riesgo en procura de cofinanciar pequeñas obras cuando sea requerido el financiamiento para hacer efectiva la gestión local.

### **Propósito 3. Gestión del riesgo con entidades nacionales**

Se propenderá por la educación y capacitación en gestión local del riesgo por parte de personal adscrito a entidades nacionales que hayan participado en eventos de gran magnitud por la presencia de lluvias intensas, desbordamiento de ríos, donde se involucre a los miembros de la comunidad y se les sensibilice para que su desempeño frente a las amenazas o emergencias sea eficiente y minimice las pérdidas humanas, mitigue afectos ambientales y en consecuencia se reduzcan los costos económicos.

## **6.2 ALTERNATIVAS DE CORRECCIÓN DE INFRAESTRUCTURA EXISTENTE**

La zona se caracteriza por contar con alcantarillado combinado con bajas pendientes, el cual conduce las aguas drenadas hasta la estación de bombeo de Floralia.

Cuenta con tres colectores principales: el Colector “A”, que va sobre la Carrera 4N, desde la Calle 70 Norte hasta la Calle 84, el Colector “B” sobre la Carrera 3N desde la Calle 70 hasta la Calle 84 y finalmente el Colector “C” que intercepta los dos anteriores y se dirige sobre la Calle 84 desde la Diagonal 7N hasta la estación de bombeo de Floralia (Carrera 9N). Los diámetros existentes van desde 10” hasta 2.45 m. La tubería es de concreto y tiene una edad aproximada de 20 años.

El sistema presenta insuficiencia en la capacidad de transporte debido a la densificación de la zona, cambios de uso del suelo, carencia de sumideros en buen estado y en cantidad suficiente que contribuyan de drenaje superficial y adición de áreas no contempladas en los diseños originales, lo cual explica en gran medida las frecuentes inundaciones que en los sectores se presentan.

Con base en el Consultoría para el control de las inundaciones en los barrios Calipso y Floralia<sup>6</sup> se propone desarrollar las actividades de reposición y construcción listadas en la tabla 5 y esquematizadas en la Figura 12, teniendo en cuenta el empate de colectores entre si y la construcción de las respectivas cámaras de distribución de caudales:

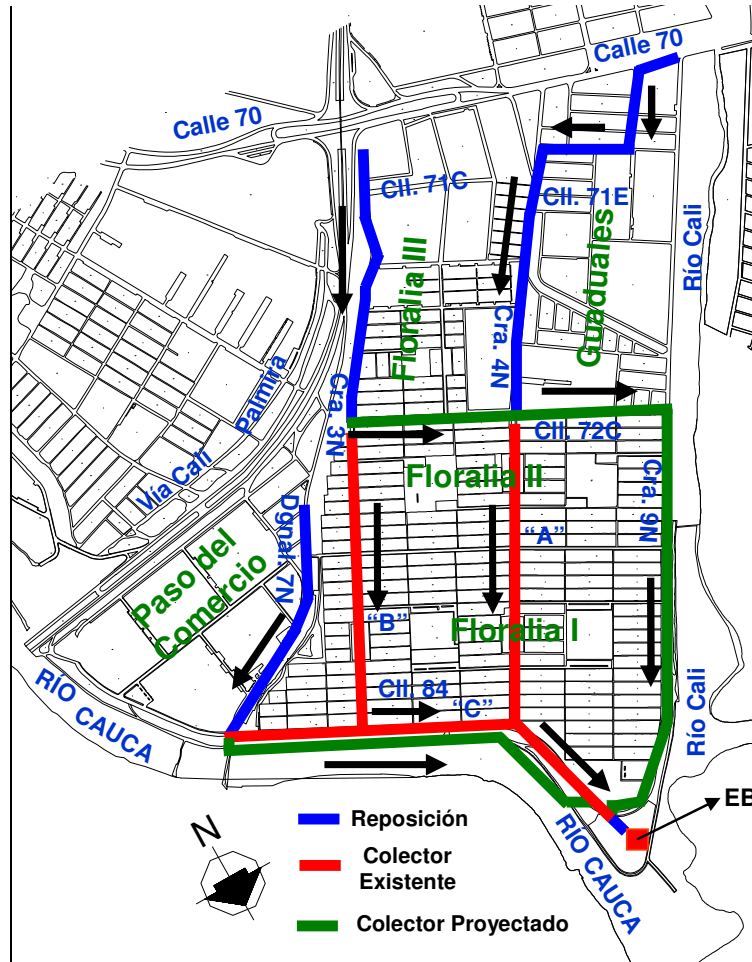
---

<sup>6</sup> *CONTRATO 300 - No. GAA-CC-478-2005. Consultoría para el control de las inundaciones en los barrios Calipso y Floralia, Abril de 2006.*

**Tabla 5. Red de alcantarillado contemplado en la alternativa**

<b>Colector</b>	<b>Descripción</b>	<b>Tubería</b>
B	• Carrera 3N entre Cll. 71C y 72C	Reponer
	• Carrera 3N entre Cll. 72C y 84	Conservar
A	• Carrera 4N entre Cll. 71E y 72C	Reponer
	• Carrera 4N entre Cll. 72C y 84	Conservar
C	• Calle 84 entre Dgnal. 7N y Cra. 8N	Conservar
Diagonal 7N	• Diagonal 7N entre Cra. 5AN y Cll. 84	Nuevo
Paralelo "C"	• Calle 84 entre Dgnal 7N y Cra. 8N	Nuevo
Calle 72C	• Calle 72C entre Cra. 3N y Cra. 9N	Reponer
Carrera 9N	• Carrera 9N entre Cll. 72C y Cll. 84	Nuevo

**Figura 11. Alternativa para el control de inundación**



*Fuente: CONTRATO 300 - No. GAA-CC-478-2005. Consultoría para el control de las inundaciones en los barrios Calipso y Floralia, Abril de 2006.*

La alternativa presenta como principales ventajas las siguientes:

- Conservación de los colectores principales ubicados en las vías arterias del sector, Carreras 3N y 4N desde la Calle 72C hasta la Calle 84.
- Conservación del colector "C" de la Calle 84.
- El nuevo colector paralelo de la Calle 84 presentará diámetros menores.

- Construcción del colector de la Carrera 9N lo que causará impactos mucho menores sobre la comunidad, ya que los frentes de las viviendas se encuentran sobre las calles peatonales y no sobre ésta carrera.
- Disminución de la vulnerabilidad del sistema de alcantarillado en el sector ya que se divide el esquema de drenaje en dos áreas independientes, por la creación del colector de la Calle 72C que descargará en el colector de Carrera 9N.
- Construcción el interceptor margen izquierda desde la carrera 70 con un diámetro de 2.15 m para que por gravedad descargue con una compuerta de chapaleta y trasvase a la estación de bombeo del barrio Floralia.

### 6.3 PRESUPUESTO APROXIMADO PARA LA PROPUESTA DE GESTIÓN DE RIESGO POR INUNDACIÓN

**Tabla 6. Costo aproximado para control de inundación**

<b>ETAPA</b>	<b>VALOR (Pesos Colombianos)</b>	<b>LONGITUD (m)</b>	<b>PRECIO/ML</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
1	3.612.747.287	979	3.691.552	TUBERÍA + BOX
2	4.612.456.499	492	9.376.329	BOX (MURO COLADO)
3	10.435.640.363	1.437	7.262.194	TUBERÍA + BOX (MURO COLADO)
4	4.565.393.555	401	11.382.245	BOX (MURO COLADO)
5	2.203.596.952	1.643	1.341.024	TUBERÍA
6	1.175.975.563	674	1.744.202	TUBERÍA
<b>TOTAL</b>	<b>26.605.810.218</b>	<b>5.626</b>	<b>4.728.999</b>	-

## CONCLUSIONES

- Se considera que el modelo EPA SWMM 5.0 es útil para simular el comportamiento del Río Cali en los aspectos hidrológico e hidráulico, que permiten establecer la mancha de inundación del río desde La Clínica de los Remedios hasta su desembocadura al Río Cauca para periodos de retorno desde 5, 10, 20 y 50 años, no obstante requiere de gran cantidad de información teniendo en cuenta que ha sido diseñado para emplearse en cuencas hidrográficas de gran magnitud y en el caso del Río Cali ésta puede ser considerada una microcuenca según la determinación de áreas que maneja el modelo.
- El modelo HEC RAS, determina que a partir del periodo de retorno de 20 años se presenta desbordamiento en la parte baja del Río Cali antes de su desembocadura al Río Cauca, donde los niveles del agua superan la banca del río, tanto por la margen derecha como por la izquierda, inundando desde Calle 70 del norte de la ciudad de Cali y parte de la zona industrial del municipio de Yumbo. Este modelo se comporta muy bien con los datos suministrados y ofrece mayor garantía en los resultados finales puesto que se adapta muy bien a la dimensión de las cuencas colombianas.
- En ocasiones, resulta inconveniente trabajar con datos determinados en estudios anteriores, puesto que al momento de surgir una inquietud no es fácil tener contacto con el generador de los mismos que permita su aclaración.
- En ambos modelos se introdujeron los datos de caudales empleados en los estudios referenciados, dando continuidad a las mismas, con el ánimo de lograr la determinación efectiva de las zonas de inundabilidad a diferentes periodos de retorno que facilitan la toma de medidas para mitigar o solucionar

el impacto negativo de eventos extremos (precipitaciones de gran magnitud y corta duración).

- El sistema de drenaje estudiado, presenta insuficiencia en la capacidad de transporte debido a la densificación de la zona, cambios de uso del suelo, carencia de sumideros que faciliten el drenaje superficial y adición de áreas no contempladas en los diseños originales, lo cual explica en gran medida las frecuentes inundaciones que en los sectores aledaños a la desembocadura del Río Cali al Río Cauca se originan.
- Se hace necesario ampliar la capacidad de los colectores y mejorar las condiciones de drenaje existentes, de tal manera que en los periodos invernales el sistema cuente con la suficiente capacidad de evacuación.
- A partir de un periodo de retorno de 20 años se presentan inundaciones en la parte baja del Río Cali por excederse las cotas máximas, lo que corresponde a la zona comprendida entre la Calle 70 Norte y parte de la zona industrial del Municipio de Yumbo, conforme simulación efectuada y reflejada en las zonas de inundación levantadas topográficamente y sustentadas con imágenes satelitales.
- La zona de inundación determinada corresponde a los municipios de Santiago de Cali en zona residencial y Yumbo en sector industrial, por lo tanto, las acciones de planificación, control y mitigación del riesgo, deben ser asumidas de manera conjunta, en vista de la gran vulnerabilidad de la población que habita en el sector.
- El control de inundabilidad en el sector afectado reduce el impacto producido en la comunidad expuesta, al resultar las viviendas afectadas por el evento, al originarse formación de pozos de agua residual estancada y al aumentar la presencia y proliferación de vectores tales como roedores, zancudos y

mosquitos que afectan la población.

- Los daños producidos por inundaciones tienen inmensos costos sociales, económicos y ambientales. Si bien es muy difícil eliminarlos totalmente, es posible minimizarlos mediante programas, proyectos y actividades que apunten a reducir paulatinamente la vulnerabilidad de la infraestructura económica y social teniendo en cuenta la participación de las entidades involucradas y comprometidas con la temática de gestión local del riesgo.
- La mitigación de pérdidas ocasionadas por inundaciones requiere no sólo mejores sistemas de alerta y respuesta locales, sino también cambios en la infraestructura actual. Las actividades de mitigación deben estar integradas con las de planificación comunitaria y desarrollo sectorial económico y social, dentro de un enfoque regional sistemático y deben contar con apoyo efectivo en el ámbito nacional.
- Es necesario fortalecer la gestión local y municipal para el desarrollo de una agenda concertada entre las autoridades ambientales, empresas de servicios públicos, IDEAM, Bomberos, Cruz Roja, IPS, comité local y departamental de prevención y atención de desastres, entre otras, para apoyar la prevención y atención de riesgos ambientales por inundación.
- La información existente no es suficiente, es decir, se necesita realizar una mejor caracterización de la zona de influencia del río Cali referido al periódico monitoreo de la calidad del recurso hídrico que facilite la gestión del riesgo, en vista de la responsabilidad que tienen las alcaldías, la gobernación del Valle del Cauca y las autoridades ambientales de los municipios de Cali y Yumbo de garantizar la calidad del mismo.



## **RECOMENDACIONES**

- Dar continuidad a los estudios adelantados en la ciudad de Cali con respecto a la efectividad del sistema de drenaje y los correctivos planteados para reducir los daños ambientales y salvaguardar el bienestar de los habitantes.
- Colocar en funcionamiento el PLEC, permitiendo la vinculación de profesionales y entidades que desarrollen investigaciones o estudios detallados sobre la vulnerabilidad de la población frente a la recurrencia y magnitud de los fenómenos amenazantes, procurando minimizar el riesgo por impacto ambiental, social y económico y facilitando la toma de decisiones.

## BIBLIOGRAFIA

Cali en cifras 2009. Alcaldía de Santiago de Cali. Departamento Administrativo de Planeación. Santiago de Cali, 2009.

Chapra, Steven. Surface Water-Quality Modeling. McGraw-Hill.1997.

Como vivir en el Valle del Cauca. Gobernación del Valle, Subsecretaría de Atención y Prevención de desastres, 2004.

Contrato 300 – No. GAA-CC-478-2005. Consultoría para el control de las inundaciones en los barrios Calipso y Floralia, Abril de 2005.

DAGMA. La Ciudad de los 7 Ríos. Cali, Colombia. Primera Edición; 1997.

DELGADO, Alexandra; PULIDO, Sandra Milena. Modelación Hidrodinámica del sistema de drenaje urbano de la ciudad de Cali en el área de influencia del Río Cali; 2005.

IDEAM, Calidad del Recurso Hídrico de Bogotá, D.C., 2004.

National Risk Management Research Laboratory. USA. Manual del Usuario. Modelo EPA SWMM Versión 5.0. 2005.

Plan para la mitigación de riesgos en Cali. [www.osso.org.co](http://www.osso.org.co),2005.

PMC CVC UNIVALLE. Campaña de Muestreo con propósitos de calibración del modelo de Calidad del Agua del Río Cauca. Volumen VI, Julio de 2004.

SALAZAR, A. Contaminación de Recursos Hídricos. Modelos y Control. 1984.

TORREZ, J. C. Levantamiento topográfico y diseño de las obras de control de inundaciones del Río Cali en el sector norte de la ciudad. Santiago de Cali, 2005.

Us Army Corps of Engineers. Manual Básico del HEC RAS 3.1.3. Version en español htm.

[www.flumen.upc.edu/Curso/Epaswmm/02IntroSWMM5.pdf](http://www.flumen.upc.edu/Curso/Epaswmm/02IntroSWMM5.pdf)

# **ANEXOS**

## **ANEXO A. Resultados Modelación con HEC RAS V3.1.3**

Reach	River Sta	Profile	Q Total (cfs)	Min Ch EI (ft)	W.S. Elev (ft)	Crit W.S. (ft)	E.G. Elev (ft)	E.G. Slope (ft/ft)	Vel Chnl (ft/s)	Flow Area (sq ft)	Top Width (ft)	Froude # Chl
		TR										
1	44	5	35.23	968.40	970.590		970.63	0.002	1.700	20.710	13.490	0.240
1	44	10	89.00	968.40	971.620		971.72	0.003	2.450	36.310	16.600	0.290
1	44	20	115.00	968.40	971.990		972.10	0.003	2.700	42.570	17.700	0.310
1	44	50	155.00	968.40	972.460		972.61	0.003	3.020	51.360	19.100	0.320
1	43	5	35.23	968.40	970.440		970.49	0.003	1.880	18.720	13.040	0.280
1	43	10	89.00	968.40	971.420		971.53	0.004	2.700	32.960	15.980	0.330
1	43	20	115.00	968.40	971.760		971.90	0.004	2.970	38.690	17.030	0.350
1	43	50	155.00	968.40	972.220		972.39	0.004	3.320	46.740	18.390	0.370
1	42	5	35.23	968.40	970.200		970.28	0.004	2.230	15.790	12.350	0.350
1	42	10	89.00	968.40	971.110		971.26	0.006	3.160	28.150	15.050	0.410
1	42	20	115.00	968.40	971.430		971.61	0.006	3.470	33.130	16.020	0.430
1	42	50	155.00	968.40	971.850		972.08	0.006	3.860	40.140	17.280	0.450
1	41	5	35.23	968.40	969.390	969.39	969.78	0.043	5.010	7.030	9.140	1.010
1	41	10	89.00	968.40	970.080	970.08	970.68	0.038	6.240	14.260	11.930	1.010
1	41	20	115.00	968.40	970.320	970.32	971.01	0.037	6.660	17.260	12.700	1.010
1	41	50	155.00	968.40	970.650	970.65	971.45	0.035	7.180	21.590	13.680	1.010
1	40	5	35.23	965.40	966.630	966.63	967.01	0.044	4.960	7.100	9.510	1.010
1	40	10	89.00	965.40	967.290	967.29	967.91	0.038	6.310	14.100	11.600	1.010
1	40	20	115.00	965.40	967.600	967.54	968.25	0.033	6.450	17.830	12.570	0.950

1	40	50	155.00	965.40	968.130		968.73	0.024	6.230	24.890	14.230	0.830
1	39	5	35.23	964.20	966.210		966.26	0.003	1.870	18.880	14.050	0.280
1	39	10	89.00	964.20	967.270		967.37	0.003	2.480	35.850	18.460	0.310
1	39	20	115.00	964.20	967.670		967.78	0.003	2.630	43.790	21.630	0.330
1	39	50	155.00	964.20	968.190		968.31	0.003	2.770	55.890	24.180	0.320
1	38	5	35.23	963.80	966.140		966.15	0.000	0.770	46.010	26.150	0.100
1	38	10	89.00	963.80	967.190		967.22	0.000	1.190	74.840	28.420	0.130
1	38	20	115.00	963.80	967.580		967.61	0.001	1.340	86.030	29.180	0.140
1	38	50	155.00	963.80	968.100		968.14	0.001	1.530	101.390	30.000	0.150
<b>Reach</b>	<b>River Sta</b>	<b>Profile</b>	<b>Q Total</b>	<b>Min Ch El</b>	<b>W.S. Elev</b>	<b>Crit W.S.</b>	<b>E.G. Elev</b>	<b>E.G. Slope</b>	<b>Vel Chnl</b>	<b>Flow Area</b>	<b>Top Width</b>	<b>Froude # Chl</b>
1	37	5	35.23	963.80	966.000	964.52	966.01	0.000	0.830	42.280	25.760	0.110
1	37	10	89.00	963.80	966.980		967.01	0.001	1.290	68.890	28.000	0.150
1	37	20	115.00	963.80	967.350		967.38	0.001	1.450	79.320	28.720	0.150
1	37	50	155.00	963.80	967.840		967.88	0.001	1.650	93.660	29.690	0.160
1	36	5	35.23	963.80	965.010	964.52	965.06	0.005	1.920	18.320	21.730	0.370
1	36	10	89.00	963.80	965.350		965.53	0.012	3.400	26.140	23.990	0.570
1	36	20	115.00	963.80	965.410	965.13	965.68	0.017	4.150	27.690	24.260	0.680
1	36	50	155.00	963.80	965.540	965.34	965.93	0.022	5.040	30.780	24.650	0.790
1	35	5	35.23	952.47	953.080	953.08	953.34	0.047	4.080	8.630	16.880	1.010

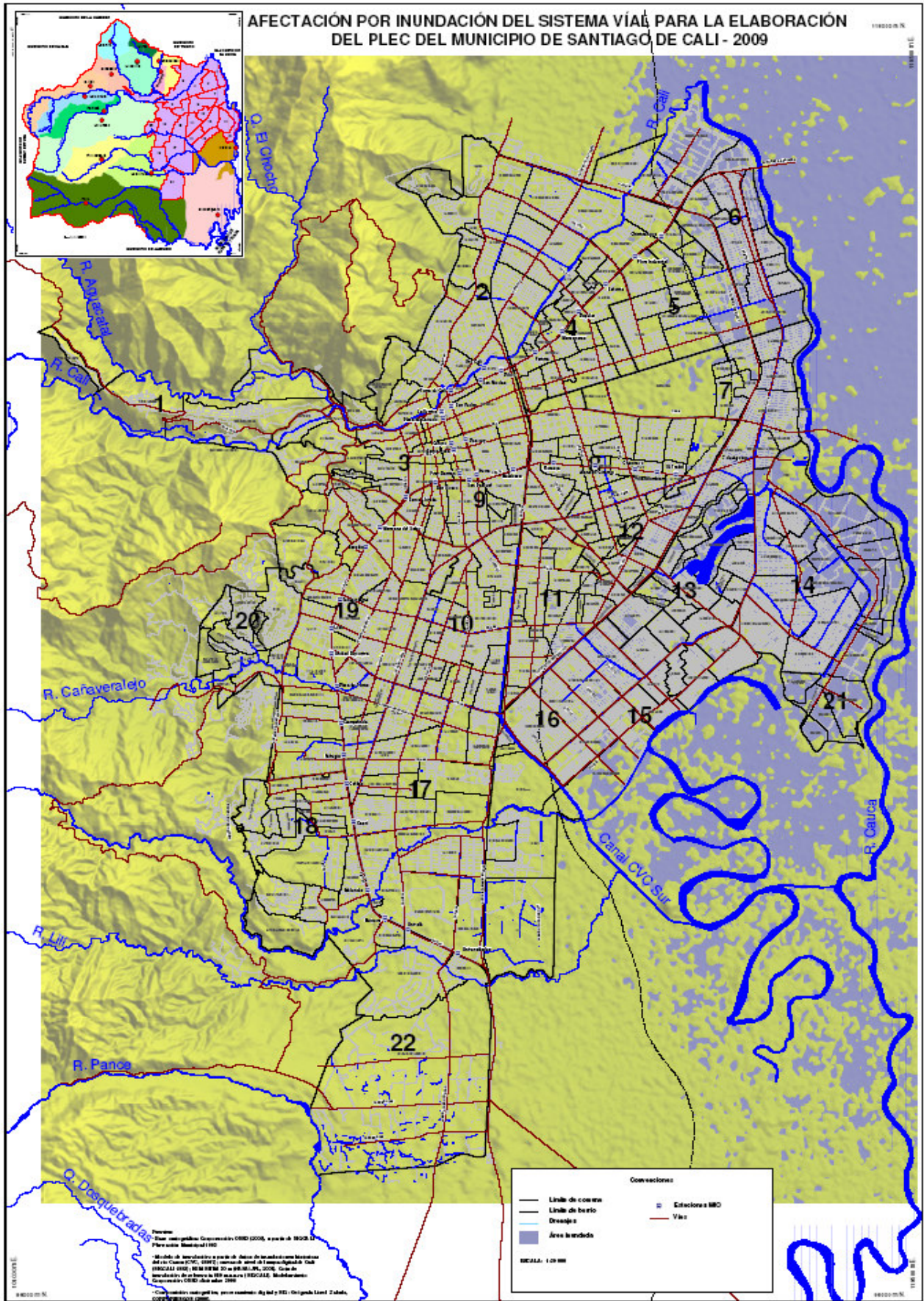
1	35	10	89.00	952.47	953.960		954.14	0.011	3.460	25.720	21.720	0.560
1	35	20	115.00	952.47	954.320		954.50	0.008	3.400	33.830	23.000	0.490
1	35	50	155.00	952.47	954.760		954.95	0.007	3.500	44.250	24.550	0.460
1	34	5	35.23	949.94	952.050		952.06	0.000	0.840	41.890	23.110	0.110
1	34	10	89.00	949.94	952.250		952.31	0.002	1.910	46.630	23.700	0.240
1	34	20	115.00	949.94	952.390		952.48	0.002	2.300	50.080	24.120	0.280
1	34	50	155.00	949.94	952.650		952.77	0.003	2.750	56.310	24.860	0.320
1	33	5	35.23	946.86	952.020		952.02	0.000	0.380	94.340	25.060	0.030
1	33	10	89.00	946.86	952.100		952.11	0.000	0.930	96.310	25.130	0.080
1	33	20	115.00	946.86	952.160		952.18	0.000	1.190	97.840	25.190	0.100
1	33	50	155.00	946.86	952.280		952.32	0.000	1.560	100.810	25.290	0.140
1	32	5	35.23	946.14	952.010		952.01	0.000	0.270	130.690	33.660	0.020
1	32	10	89.00	946.14	952.000		952.01	0.000	0.680	130.510	33.660	0.060
1	32	20	115.00	946.14	952.000		952.01	0.000	0.880	130.390	33.660	0.080
1	32	50	155.00	946.14	951.990		952.01	0.000	1.190	130.160	33.660	0.110

Fuente: EPA SWMM 5.0



**ANEXO B. Mapa de inundación Zona Noroccidental Río  
Cali entre los municipios de Cali y Yumbo**

**ANEXO C. Afectación por inundación del sistema vial  
para la elaboración del PLEC de Santiago de Cali 2009**



**ANEXO D. Aplicativo DesInventar  
(Corporación OSSO)**

**Resultados**

Tipos de eventos: Inundación Desde: 1950 Hasta: 2000

Número de fichas: 1111

**Mapa de Afectados**

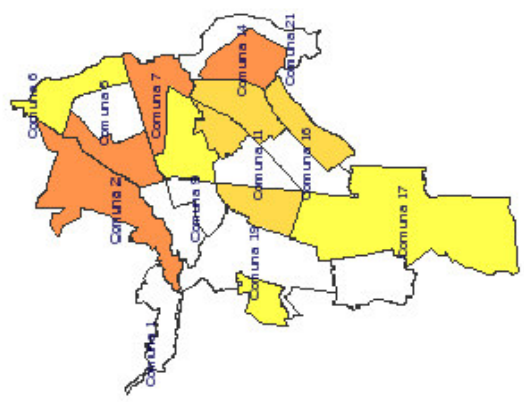
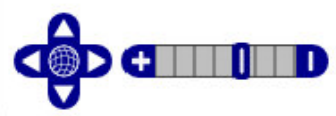
Nivel: Comuna; Tipos de eventos: Inundación; Desde: 1950; Hasta: 2000; Colombia - Inventario desastres Cali - zona urbana

[Ver en GoogleEarth](#)

- = 0
- Entre 11 - 100
- Entre 101 - 1000
- Entre 1001 - 10000

Definición

**Mapa de Afectados**



**Overlays**

- Barrio
- Comuna
- DS / Colombia - Inventario desastres Cali - zona urbana Base Layer
- Google Satellite
- Google Hybrid
- Google Base
- Microsoft Base
- Yahoo Maps
- Open StreetMap