

Alternativas de diseño para optimización del sistema de drenaje zona nororiental de Tunja*

José Julián Villate C.**

Diego Leonardo Forero C.***

Camilo Andrés Pinto Z.****

Recibido: 25 de abril de 2012 Aprobado: 13 de junio de 2012

L'esprit Ingénieux Tunja - Colombia V 3 pp. 133 - 143 enero - diciembre 2012

RESUMEN

El presente trabajo tiene como finalidad la formulación y análisis de los problemas generados por la escorrentía superficial en la zona nororiental de Tunja, conformada por los distritos Santa Inés, Altagracia, Villita y Casa Verde, a partir del análisis de la información suministrada por la empresa PROACTIVA AGUAS DE TUNJA S.A. E.S.P, la cual permitió el desarrollo y solvencia del proyecto, a fin de establecer estrategias de prevención y mitigación de los inconvenientes del sector, caracterizados principalmente por ausencia y falencia de estructuras de drenaje pluvial.

Por lo anterior, se propuso la utilización de un conjunto tecnológico de herramientas, que permitieron manejar y analizar variables hidrológicas e hidráulicas específicas, además de información espacial relacionada con topografía, usos de suelo y desarrollo urbano. Las alternativas de diseño propuestas parten del análisis del comportamiento urbanístico actual y proyectado, con el fin de generar una propuesta de conducción y evacuación de escorrentía superficial buscando un adecuado desarrollo de una de las principales zonas de expansión de la ciudad.

Palabras Clave: Diseño, drenaje urbano, Simulación hidráulica, Alcantarillado pluvial.

ABSTRACT

The present work present the formulation and analysis of the runoff problems in the northeastern of Tunja, comprising the districts Santa Ines, Altagracia, La Villita y Casa Verde, from the analysis of information provided by the company PROACTIVA AGUAS DE TUNJA S.A. to establish strategies for preventing and mitigating the sector's problems, characterized by the absence of drainage structures.

Therefore, they proposed using a set of technological tools that allow to handle and analyze hydrological and hydraulic specific variables, as well as spatial information related to topography, land use and urban development. The proposed design alternatives based on the analysis of current and projected urban behavior, in order to generate a proposal for the proper disposal of surface run-off in this important expansion areas at the city.

Key words: Design, urban drainage, hydraulic simulation, storm sewer

* Artículo de investigación, como producto final del proyecto de investigación del mismo nombre.

** Ingeniero Civil, Magíster en Ingeniería Civil, Especialista en Geomática, Docente Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, juvillate@gmail.com

*** Ingeniero Civil, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. dlforero@ingenieros.com

**** Ingeniero Civil, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. ingpinto222@gmail.com

I. INTRODUCCIÓN

El constante aumento de las zonas impermeables en las ciudades afecta de manera directa los flujos naturales del ciclo hidrológico, debido a que la reducción de espacios cubiertos de vegetación disminuye la intercepción natural y la evapotranspiración, generando volúmenes de escorrentía más altos y aumentando el riesgo de inundación.

El municipio de Tunja, capital del departamento de Boyacá, no es ajeno a este tipo de fenómenos, puesto que en los últimos años se ha dado un auge de construcción de vivienda unifamiliar, multifamiliar y unidades comerciales, que ha incidido en el aumento de población en zonas donde no se habría previsto dicho comportamiento.

En la zona nororiental del municipio (sector donde se encuentran ubicados gran magnitud de proyectos de construcción), es realmente visible el problema que se presenta con la recolección de aguas lluvias, ya que la topografía y ausencia de estructuras apropiadas no permiten el adecuado manejo del caudal pluvial. Así, se ve la necesidad de implementar el diseño y construcción de nueva infraestructura, que permita mitigar el actual impacto sobre la zona de potencial desarrollo de Tunja.

contemplada en el Plan Maestro de Alcantarillado de Tunja [1], la zona nororiental se encuentra dividida en cuatro distritos de drenaje: Santa Inés (A), Altagracia (B), Casa Verde (D) y Villita (C), ver Figura 1. Cada uno de ellos se encuentra constituido por dos sectores divididos por la avenida universitaria. El sector de la parte alta, formado por terrenos ubicados al costado oriental de la vía y el sector de la parte baja hacia el costado occidental de la misma.

II. METODOLOGÍA Y DATOS

Basados en la compilación de información y teniendo en cuenta la sectorización

A. Parámetros de Diseño:

Este proyecto consideró el análisis y diseño de un sistema de recolección y transporte de aguas lluvias, desarrollado a partir de

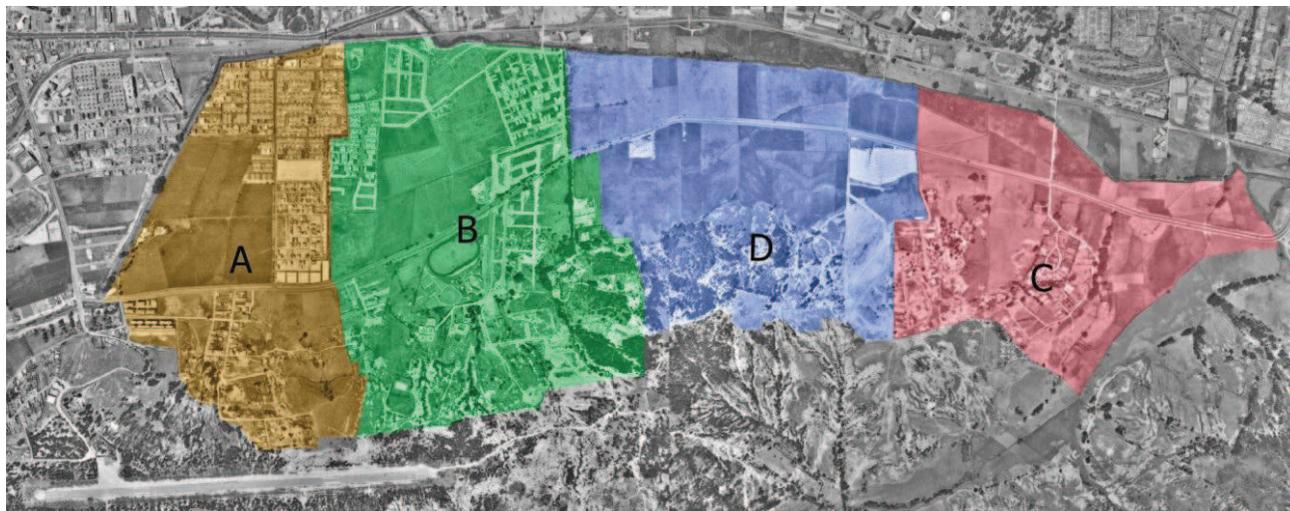


Figura 1. Distritos de drenaje Zona Nororiental.

parámetros establecidos en el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS 2000 [2].

- Nivel de complejidad del Sistema = Alto
- Período de diseño = 30 años
- Período de retorno = 5 años

B. Determinación de Caudales:

Identificados los respectivos parámetros de diseño y en función del área aferente, se procede a la estimación de caudales por medio del método racional, sugerido por el RAS 2000. El motor de cálculo del programa StormCad está internamente ligado a este método, por consiguiente, se efectuó el trazado de las áreas de drenaje, la introducción de la curva IDF y los coeficientes de impermeabilidad del suelo.

1) Estimación de Caudales

El método racional calcula el caudal pico de aguas lluvias basado en la intensidad media del evento de precipitación, con una duración igual al tiempo de concentración del área de

drenaje y un coeficiente de escorrentía [3]. Ver ecuación 1.

$$Q = 2,78 * C * i * A \quad (1)$$

Dónde:

- Q = Caudal (l/s)
- C = Coeficiente de escorrentía
- I = Intensidad de la lluvia para un tiempo de concentración (mm/h)
- A = Área de la cuenca (Ha)

2) Áreas de Drenaje

Basados en visitas de campo realizadas y en el análisis de planos cartográficos y urbanísticos del sector, se identificó el desarrollo urbano actual y proyectado, los drenajes naturales y la infraestructura pluvial existente. De esta forma, se efectuó el trazado definitivo de las áreas de drenaje así como la identificación de las características físicas de las mismas, así como los puntos de confluencia de la escorrentía superficial a tramos de red existentes y proyectados. El resultado de las áreas de drenaje conformadas se evidencia en la Figura 2.

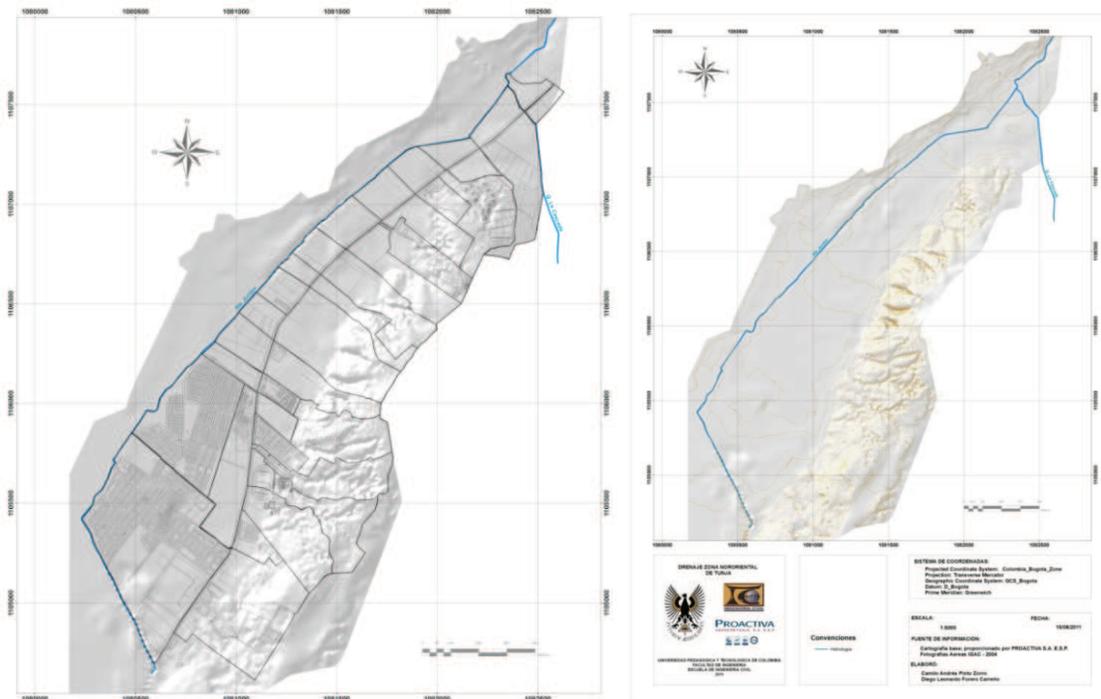


Figura 2. Trazado de Áreas de Drenaje

3) Coeficiente de impermeabilidad del suelo

A lo largo de la zona nororiental, se hicieron consideraciones sobre el desarrollo urbano, el plan de ordenamiento territorial y las disposiciones legales locales sobre uso del suelo. El valor del coeficiente C se estimó mediante el uso de un sistema de información

geográfica, con el fin de relacionar los coeficientes de impermeabilidad de cada uso de suelo [4], con áreas de drenaje. Así, a través de un análisis espacial en ArcGIS 9.3 se obtuvo un coeficiente de impermeabilidad ponderado que permitió calcular los caudales pluviales en StormCad. Ver Figura 3.

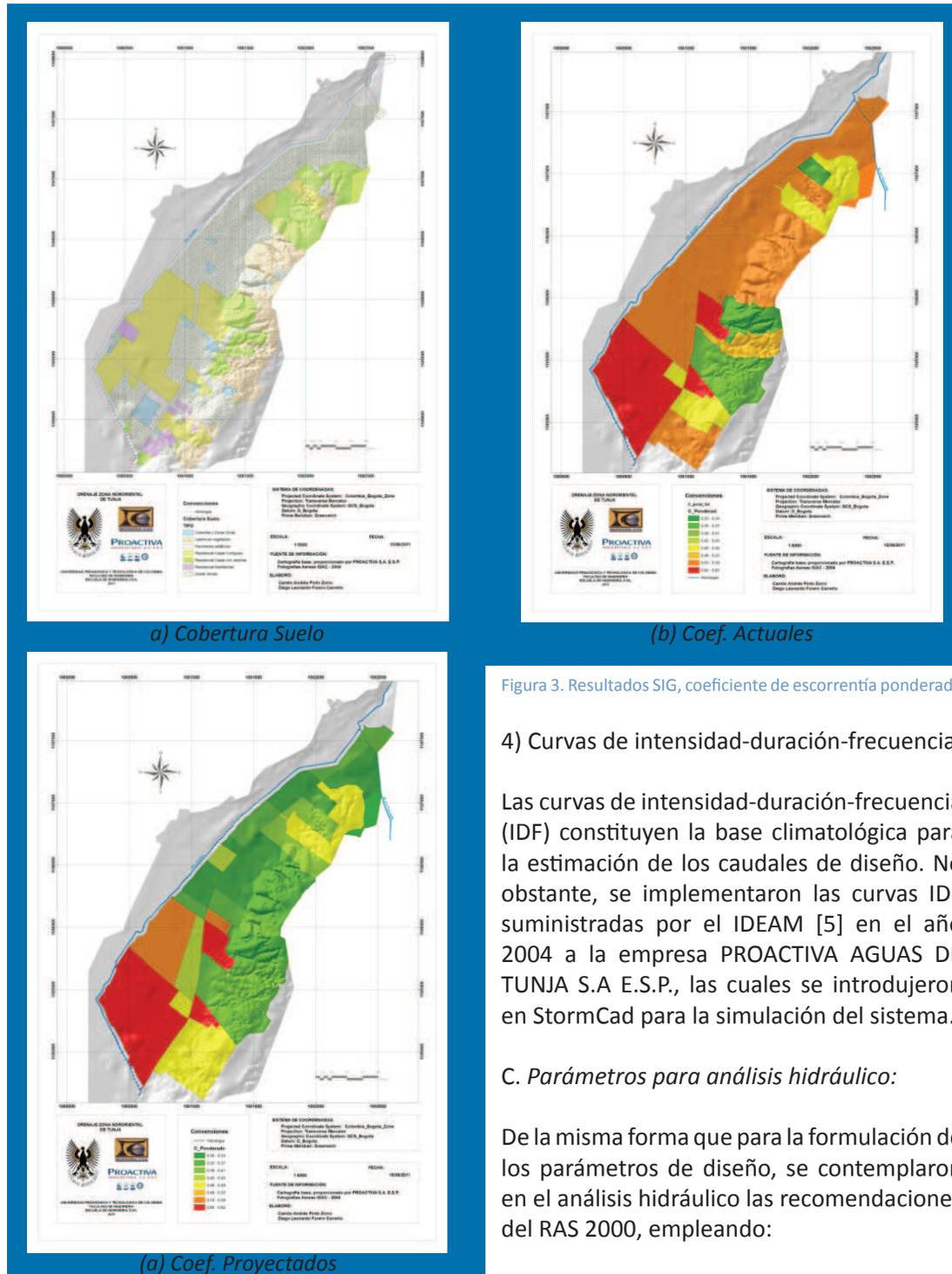


Figura 3. Resultados SIG, coeficiente de escorrentía ponderado

4) Curvas de intensidad-duración-frecuencia

Las curvas de intensidad-duración-frecuencia (IDF) constituyen la base climatológica para la estimación de los caudales de diseño. No obstante, se implementaron las curvas IDF suministradas por el IDEAM [5] en el año 2004 a la empresa PROACTIVA AGUAS DE TUNJA S.A E.S.P., las cuales se introdujeron en StormCad para la simulación del sistema.

C. Parámetros para análisis hidráulico:

De la misma forma que para la formulación de los parámetros de diseño, se contemplaron en el análisis hidráulico las recomendaciones del RAS 2000, empleando:

Para Colectores:

Velocidad mínima	= 0,75 m/s
Velocidad máxima	= 5,0 m/s – Concreto = 10,0 m/s – PVC
Pendiente min y máx.	= En función de la velocidad
Profundidad hidráulica	= Tubo lleno
Capacidad hidráulica	= Tubo lleno

Para Canales:

Velocidad mínima	= 0,75 m/s
Velocidad máxima	= 8,0 m/s – Canales
Pendiente min y máx.	= En función de la velocidad
Profundidad hidráulica	= Garantizando borde libre

D. Simulación Hidráulica

El proceso de simulación comprendió la identificación de los elementos de drenaje, los cuales fueron dibujados a partir de un plano base. De igual forma hizo parte, el trazado de las áreas de drenaje y la entrada de las características físicas (diámetro, material y cotas) de estos elementos. El análisis del modelo de simulación hidráulica permitió evaluar el funcionamiento del sistema de acuerdo a los parámetros del RAS 2000, y formular alternativas de diseño que optimizarían su funcionamiento.

E. Optimizaciones

Los respectivos tramos de red fueron analizados conforme a los parámetros de velocidad, capacidad y profundidad hidráulica. Sin embargo, este último parámetro fue fundamental para formular las medidas respectivas.

Las optimizaciones comprenden desde renovación de tramos (material y pendiente), hasta el planteamiento de nueva infraestructura que permita mejorar el drenaje actual de la zona.

III. RESULTADOS

A. Análisis del sistema

Luego de configuradas las herramientas gráficas y una vez obtenido el modelo de simulación, se obtuvo una serie de

planos y resultados que representan el comportamiento hidráulico del sistema para cada uno de los distritos mencionados.

1) Distrito Santa Inés

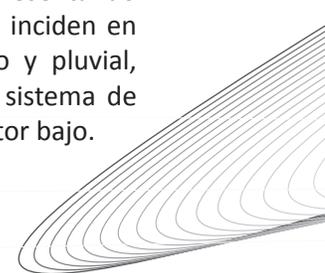
Este distrito fue analizado en el proyecto denominado Montaje del modelo de simulación hidráulica distrito Santa Inés 2010 [6], del cual se obtuvo información respecto velocidad, capacidad y profundidad hidráulica. Dicho proyecto contempló el análisis de dos sectores.

a) *Sector Bajo*: Presenta un sistema de alcantarillado de tipo combinado. Se conforma de los barrios Santa Inés, 15 de mayo, Remansos de Santa Inés, Terrazas de Santa Inés y el Centro Comercial Unicentro.

El sector bajo está subdividido en microdistritos, los cuales en términos de capacidad hidráulica operan correctamente con valores inferiores al 20%, bajo aportes sanitarios. En cuanto a velocidad se encontraron valores bajos pero no críticos, ligados a las bajas pendientes de la zona. Así, es indiscutible que el sector deberá contemplar labores de mantenimiento para evitar inconvenientes relacionados con sedimentación, que disminuirían la capacidad hidráulica de los colectores.

Por otra parte, bajo eventos de precipitación se observó una condición excesiva en términos de capacidad, reportando un valor de 99,0%. De manera que, los colectores de esta zona no estarían en la capacidad de recibir aportes de aguas lluvias provenientes de la parte alta del distrito.

b) *Sector Alto*: Conformado por los barrios Esmeralda, Comfaboy y Rincón de Mesopotamia. En términos generales, el sector se encuentra en proceso de estructuración urbanística, presentando amplias zonas de desarrollo que inciden en el aumento del caudal sanitario y pluvial, afectando de manera directa el sistema de alcantarillado combinado del sector bajo.



En relación con la velocidad, los rangos están dentro de los parámetros establecidos, por lo cual estos tramos de red ofrecen amplias posibilidades de conexión a las áreas de potencial desarrollo urbanístico. Sin embargo, bajo eventos de precipitación se generan grandes caudales pluviales que sobrecargan y exceden la capacidad hidráulica de la red, generando devolución y reboses de agua.

2) Distrito Altagracia

El distrito Altagracia desde su conformación presenta alcantarillado separado, presentando estructuras de drenaje pluvial desde colectores hasta canales revestidos. Sin embargo, parte del distrito se encuentra

conformado por tramos de zanja, localizados en sectores que todavía no tienen un desarrollo urbano definido.

Para el distrito se ideó analizar y contrastar un estado actual y proyectado para cada uno de los elementos que componen el sistema de drenaje pluvial del distrito, evaluando lo correspondiente a los parámetros de velocidad, capacidad y profundidad hidráulica descritos con anterioridad. En la Figura 4 se ilustra los resultados de la simulación hidráulica para las condiciones actuales y proyectadas, respecto al parámetro de profundidad hidráulica, que permitió optimizar o no cada uno de los tramos del sistema.



Figura 4. Resultados de la simulación respecto a profundidad hidráulica

Como se muestra anteriormente, muchos de los tramos que componen el distrito de Altagracia funcionan con una profundidad hidráulica superior al 100%, lo que indica que algunos conductos, canales y zanjas no funcionarían como un sistema de drenaje pluvial óptimo para el distrito. Además, se aprecia un código de color de las áreas que indica el cambio del coeficiente de escorrentía ya mencionado.

analizarlos en conjunto y poder así obtener mejores resultados.

En particular, esta zona es considerada de potencial desarrollo de la ciudad, debido a que gran parte del área se encuentra inhabitada y sus condiciones topográficas son un hecho factible para la construcción de proyectos de vivienda, locales comerciales e instituciones.

3) Distritos Villita y Casa Verde

Debido a que estos distritos presentan características similares, entre las que se encuentran: configuración del terreno, topografía y desarrollo urbanístico, se decidió

De igual forma que el distrito Altagracia, se analizó un estado actual y proyectado para cada uno de los elementos, evaluando los correspondientes parámetros. En la Figura 5 se muestran los resultados de la simulación para las condiciones actuales y proyectadas,

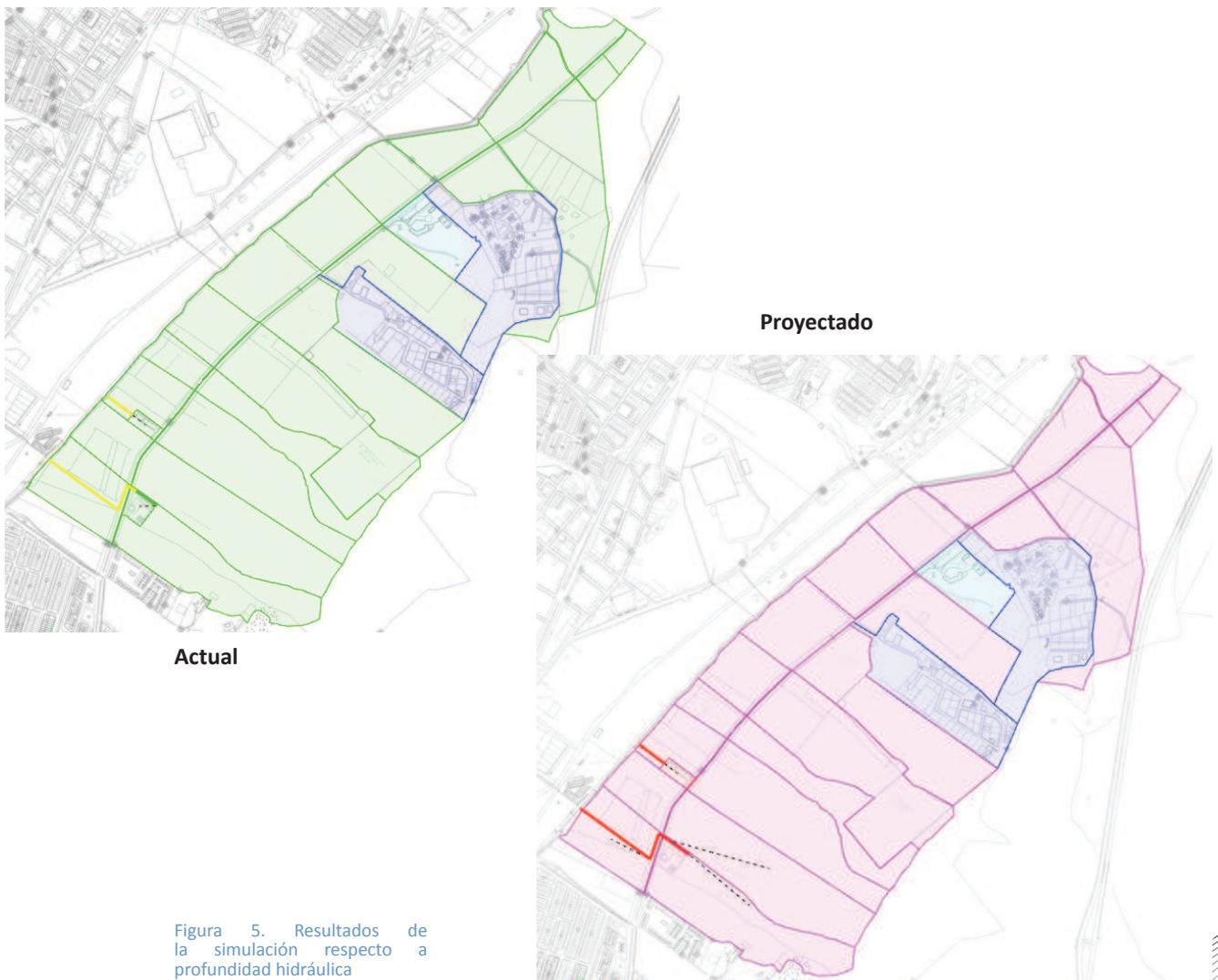


Figura 5. Resultados de la simulación respecto a profundidad hidráulica

respecto al parámetro de profundidad hidráulica.

En vista de que en los dos distritos no se cuenta con amplia infraestructura pluvial, se optó por analizar los pocos tramos que existen, encontrándose que a futuro la profundidad hidráulica excedería el 100 % establecido.

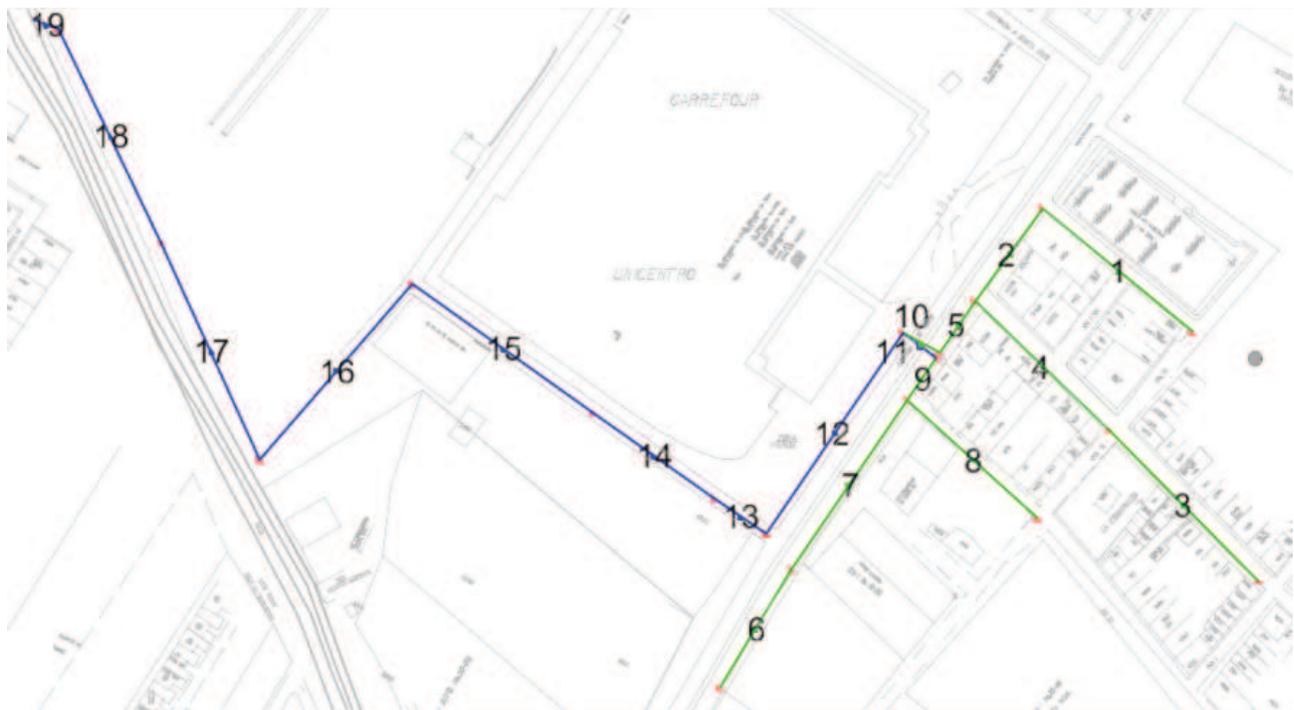
B. Medidas de Optimización

Dado que muchos de los tramos contemplados en el análisis del sistema no seguían recomendaciones del RAS 2000, se tuvo que formular propuestas de diseño con el objeto de mejorar las condiciones actuales de drenaje pluvial, siguiendo lo analizado en la condición proyectada.

1) Distrito Santa Inés

Según el análisis del sistema de alcantarillado del distrito, se formuló una alternativa de diseño en el sector alto, cuyo propósito es aliviar el caudal que sobrecarga la red combinada de la parte baja y aprovechar la infraestructura pluvial construida por el C.C. Unicentro en el año 2008. En la Figura 6 se presenta el trazado de la red, basado en la proyección urbanística de la zona.

Cabe aclarar que el colector propuesto (Tramo 1 a 10) cumple parámetros RAS 2000 de velocidad, capacidad y profundidad hidráulica, analizados en el software StormCad.



Colector Propuesto ————
Colector Existente ————

Figura 6. Formulación alternativa de diseño distrito Santa Inés

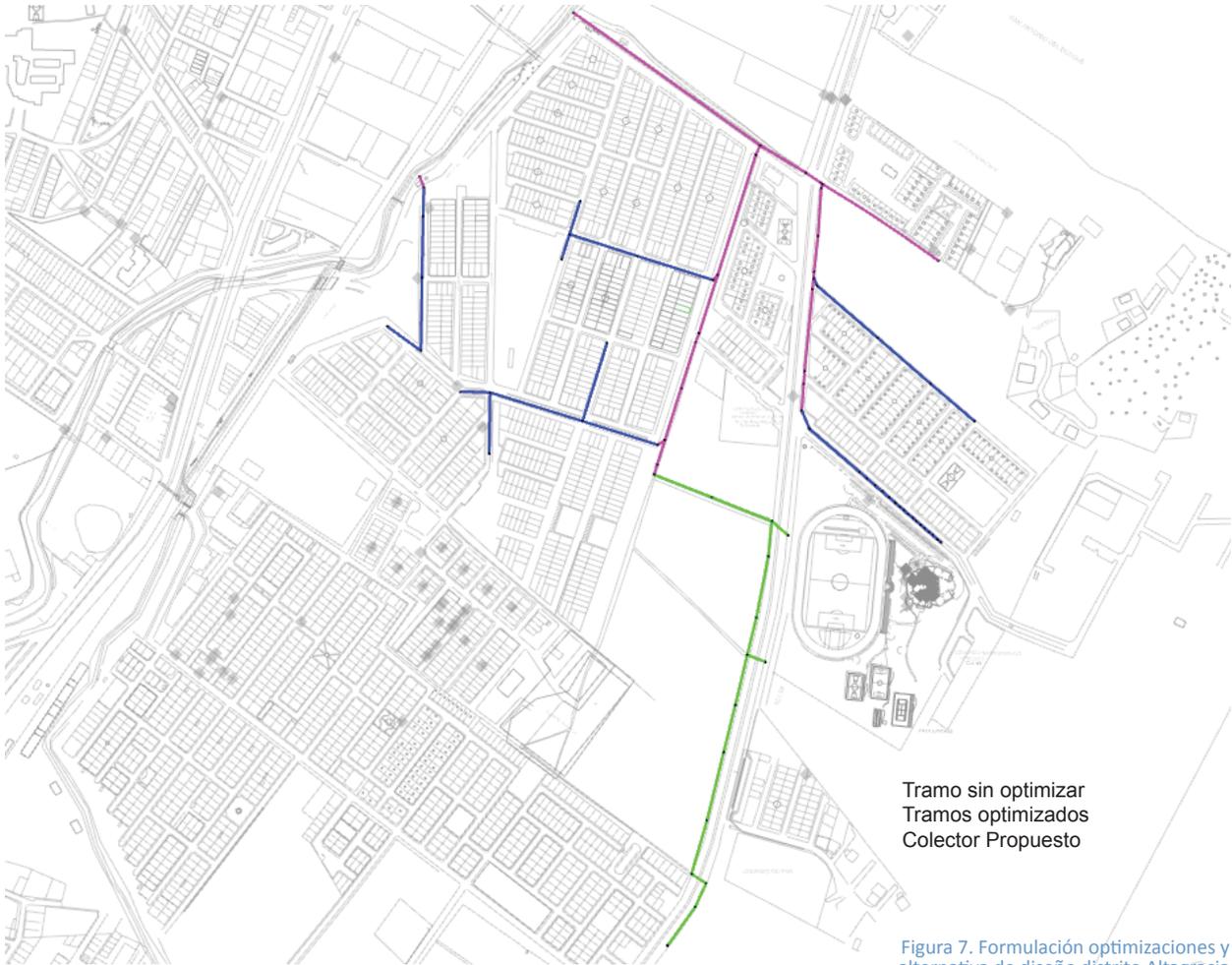


Figura 7. Formulación optimizaciones y alternativa de diseño distrito Altagracia

2) Distrito Altagracia

Como se demostró en el análisis del sistema, existen varios tramos que no cumplen profundidad hidráulica para la condición proyectada. Conforme a esto se formularon optimizaciones teniendo en cuenta las áreas impermeabilizadas y el punto de descarga. Además, por la presencia de algunas zanjas en el distrito, se vio la necesidad de plantear un colector pluvial que recogiera el caudal generado en estas áreas y conducirlo hacia los canales con la descarga al río. El colector planteado y los tramos optimizados se evidencian en la Figura 7.

Los tramos sin optimizar corresponden a tramos cuyos valores de profundidad hidráulica se redujeron al ampliar u optimizar los tramos consecuentes. Por otra parte, los

tramos optimizados cumplen parámetros RAS 2000 y hacen que en la simulación del sistema de drenaje pluvial mejore.

El colector planteado recibiría el caudal de otras áreas de drenaje y optimizaría las zanjas que actualmente represan el agua y generan inconvenientes en el distrito.

3) Distritos Villita y Casa Verde

Esta zona, al ser la de mayor proyección de la ciudad, requirió del planteamiento de una alternativa de diseño que permitiera brindar puntos de conexión, a los diferentes proyectos de construcción que se piensan realizar. Por consiguiente, se formuló una red de colectores pluviales teniendo en cuenta las áreas de drenaje y la proyección vial de la zona.

Respecto a la poca infraestructura existente se ideó optimizar algunos tramos que darían salida al caudal producido en otras áreas. La formulación de estas medidas se ilustra en la Figura 8.

La red pluvial propuesta está conformada por puntos de conexión para el manejo adecuado

del agua lluvia generada por eventos de precipitación ya descritos. Así, tanto las optimizaciones como el colector propuesto generarían un impacto positivo en los distritos, que a través de los años han sufrido de almacenamientos permanentes de agua, causados por la ausencia de infraestructura apropiada.



Figura 8. Optimizaciones y alternativa de diseño distritos Villita y Casa Verde

V. CONCLUSIONES

- Las medidas de optimización propuestas para cada distrito tienen como fin mejorar el sistema de drenaje pluvial, evitar colapsos de la infraestructura y prevenir situaciones de insalubridad, para así mejorar la calidad de vida de los habitantes de toda la zona.
- Las visitas a campo fueron una fuente de información permanente, que permitieron establecer condiciones de funcionamiento tanto actuales como futuras, de valor importante en el proyecto.
- La formulación llevada a cabo en la parte alta del distrito Santa Inés, fue realizada conforme las necesidades de la empresa, permitiendo discutir en varias oportunidades la viabilidad de realizar o no la propuesta. Así, el análisis final se convirtió en un paso para idear la solvencia del proyecto y poder mejorar las condiciones actuales de este sector en particular.
- La concepción de analizar los distritos Altagracia, Villita y Casa Verde conforme a una condición actual y una proyectada, hizo posible identificar los elementos de drenaje pluvial que no estarían en capacidad de recibir los nuevos aportes generados a partir de la impermeabilización del suelo. Esto fue de gran ayuda para evaluar la incidencia del desarrollo urbano en la zona nororiental, pues gran parte de la infraestructura existente no sería apta para estas nuevas condiciones.
- La implementación del software StormCad, proporcionado por la empresa PROACTIVA AGUAS DE TUNJA, fue un elemento determinante en el análisis de cada uno de los elementos de drenaje, permitiendo simular el comportamiento hidráulico de la zona con absoluta compatibilidad con las recomendaciones contenidas en el RAS 2000.

VI. REFERENCIAS

- [1] PROACTIVA AGUAS DE TUNJA S.A. E.S.P. Gerencia de Planeación y Construcciones. Plan Maestro de Alcantarillado de Tunja. 1999.
- [2] COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico. Bogotá: Ministerio, 2000.
- [3] CHOW VEN TE, MAIDMENT DAVID, MAYS LARRY, Hidrología Aplicada, Mc Graw Hill, 1994.
- [4] MONSALVE S. GERMÁN, Hidrología en la Ingeniería, Escuela Colombiana de Ingeniería, 1995.
- [5] IDEAM. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) para Tunja. Año: 2004.
- [6] PROACTIVA AGUAS DE TUNJA S.A. E.S.P. Gerencia de Planeación y Construcciones. Montaje del modelo de simulación hidráulica distrito Santa Inés. 2010.