

ESTUDIO DEL SISTEMA DE EVACUACION DE AGUAS POR PROBLEMAS DE
INUNDACION EN LA ZONA DE LA MICRO CUENCA DE LA QUEBRADA LA
IGLESIA

OMAR GEOVANNY CASTRO CAMELO
CRISTIAN ANTONIO ROJAS SOTO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA
2013

ESTUDIO DEL SISTEMA DE EVACUACION DE AGUAS POR PROBLEMAS DE
INUNDACION EN LA ZONA DE LA MICRO CUENCA DE LA QUEBRADA LA
IGLESIA

OMAR GEOVANNY CASTRO CAMELO
CRISTIAN ANTONIO ROJAS SOTO

Proyecto de Grado presentado como requisito parcial para optar
al título de Ingeniero Civil

Director:

MARIO GARCÍA SOLANO
Ingeniero Civil

Codirector:

PEDRO MUÑOZ LASPRILLA
Ingeniero Civil

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECAÑICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA

2013

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a:

Ingeniero Mario García e Ingeniero Pedro Muñoz por su inestimable colaboración, paciencia, aportes y apoyo en la realización de este proyecto.

Ingeniera Sully Gómez por su valiosa y generosa colaboración con la cual fue posible llevar a cabo este estudio.

Empresa Pública de Alcantarillado de Santander S.A. ESP, EMPAS; Corporación Autónoma Regional Para La Defensa de la Meseta de Bucaramanga, CDMB; Acueducto Metropolitano de Bucaramanga, amb y Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé, por toda la información suministrada para el modelamiento de la red de drenaje e información pluviográfica.

Tabla de contenido

INTRODUCCIÓN	16
1. PLANTEAMIENTO Y JUSTIFICACION DEL PROBLEMA	17
2. DEFINICION DE LA ZONA DE ESTUDIO	18
2.1 Ubicación y localización geográfica	18
2.2 Características de la zona.....	21
2.2.1. Topografía.....	21
2.2.2 Clima.....	21
2.2.3 Precipitación	22
3. VISITA A LA ZONA DE ESTUDIO	22
4. ANALISIS HIDROLOGICO DE LA ZONA DE ESTUDIO	25
4.1. Selección de estaciones de estudio	26
4.1.1. Estación La Flora	26
4.1.2 Estación CDMB.....	26
4.1.3. Estación CENICAFÉ	27
4.1.4. Selección de datos de precipitación.....	27
4.2. Procesamiento estadístico de datos de las estaciones en estudio	27
4.2.1. Funciones de probabilidad	28
4.2.2. Prueba de bondad de ajuste	31
4.2.3. Análisis de frecuencia utilizando factores de frecuencia	32
4.3 Tormenta de diseño	33
4.3.1. Distribución espacial	34
4.3.2. Hidrograma unitario triangular y caudal de diseño	35

5. MODELAMIENTO CON EPA SWMM	38
5.1 Generalidades.....	38
5.1.1 Capa atmosférica.....	38
5.1.2 Capa terreno.....	38
5.2 Modelo con tormenta de diseño.....	39
5.3 Modelo con el evento del día 11 de junio de 2012.....	41
6. CONCLUSIONES	44
7. RECOMENDACIONES	45
BIBLIOGRAFIA	46
ANEXOS	47

Lista de tablas

Tabla 1. <i>Características de las cuencas</i>	20
Tabla 2. <i>Tiempos de concentración según Kirpich</i>	21
Tabla 3. <i>Máximos anuales de precipitación para 30 minutos de duración.</i>	28
Tabla 4. <i>Valores de σ_y y μ_y para distribución tipo Gumbel</i>	30
Tabla 5. <i>Prueba bondad de ajuste</i>	32
Tabla 6. <i>Magnitud esperada del evento para un periodo de retorno de 25 años para cada estación.</i>	33
Tabla 7. <i>Duración de tormenta de diseño</i>	34
Tabla 8. <i>Precipitación esperada para el área aferente de cada estación.</i>	35
Tabla 9. <i>Altura de precipitación esperada para cada subcuenca.</i>	35
Tabla 10. <i>Caudales de diseño.</i>	37
Tabla 11. <i>Comparación entre caudales teóricos y generados por EPA SWMM.</i>	40
Tabla 12. <i>Diámetros recomendados para evitar inundaciones en el sistema actual.</i>	45

Lista de figuras

Figura 1. <i>Ubicación de la zona de estudio</i>	18
Figura 2. <i>Detalles de la cuenca</i>	19
Figura 3. <i>Ubicación de los puntos de interés de la red de alcantarillado</i>	19
Figura 4. <i>Aéreas aferentes para cada estación.</i>	34
Figura 5. <i>Hidrograma unitario triangular</i>	37
Figura 6. <i>Distribución temporal de la tormenta de diseño.</i>	39
Figura 7. <i>Capturas de pantalla del resumen de aportes de caudal en cada nodo generado por EPA SWMM</i>	40
Figura 8. <i>Captura de pantalla del resumen de Inundación en los nodos, generado por EPA SWMM</i>	41
Figura 9. <i>Capturas de pantalla del resumen de aportes de caudal en cada nodo generado por EPA SWMM</i>	42
Figura 10. <i>Captura de pantalla del resumen de Inundación en los nodos, generado por EPA SWMM</i>	42
Figura 11. <i>Perfil de tubería antes del evento.</i>	43
Figura 12. <i>Perfil de tubería durante el evento cuando hay máxima escorrentía.</i>	43

Lista de fotos

Foto 1. <i>Estructura de entrega La Puerta del Sol</i>	23
Foto 2. <i>Estructura entrega La Presentación.</i>	23
Foto 3. <i>Presencia de sólidos en los sumideros.</i>	24
Foto 4. <i>Pozos en El Parque Ecológico La Flora</i>	24
Foto 5. <i>Entrada al box culvert.</i>	25
Foto 6. <i>Presencia de sólidos en la estructura de entrega de la puerta del sol.</i>	25

Lista de anexos

ANEXO A PROCESO DE INFORMACION PLUVIOGRAFICA	47
ANEXO B PENDIENTE MEDIA DEL TERRENO	48
ANEXO C TIEMPOS DE CONCENTRACION Y CAUDAL DE DISEÑO	49
ANEXO D INFORMACION INGRESADA EN EPA SWMM	52
ANEXO E PLANO GENERAL Y PERFILES DEL MODELADO EN EPA SWMM PARA LA TORMENTA DE DISEÑO	55
ANEXO F PLANO GENERAL, PERFILES DEL MODELADO, CURVA PRECIPITACION VS TIEMPO Y CURVA ESCORRENTIA VS TIEMPO EN EPA SWMM PARA EL EVENTO DEL DIA 11 DE JUNIO DE 2012	58
ANEXO G PLANO GENERAL, PERFILES DEL MODELADO EN EPA SWMM PARA EL DIAMETRO DE TUBERIAS RECOMENDADA	64
ANEXO H MAPA ZONA AFECTADA	68

RESUMEN

TITULO: ESTUDIO DEL SISTEMA DE EVACUACION DE AGUAS POR PROBLEMAS DE INUNDACION EN LA ZONA DE LA MICRO CUENCA DE LA QUEBRADA LA IGLESIA.*

AUTORES: CASTRO CAMELO, Omar Geovanny

ROJAS SOTO, Cristian Antonio.**

PALABRAS CLAVE: modelamiento hidráulico, estudio hidrológico, tormenta de diseño, inundación, Quebrada La Iglesia

Se presenta un estudio hidrológico de la zona de la micro cuenca de la Quebrada La Iglesia para determinar una tormenta de diseño y así tener la escorrentía superficial de dicha cuenca. Para el cual se trabajó con registros de precipitación de las estaciones La Flora, CDMB y San Antonio, estas series se ajustaron por medio de funciones de probabilidad para hallar la magnitud del evento para un periodo de retorno de 25 años, se discretizó la cuenca por medio de polígonos de Thiessen y se encontró la tormenta de diseño promedio para toda la cuenca con un tiempo de concentración calculado con la fórmula de Kirpich. La magnitud del caudal pico se calculó con la metodología propuesta por Chow con el hidrograma unitario triangular.

Así mismo con estos parámetros y la información recopilada del sistema de evacuación de lluvias actual, se modelan dos escenarios de estudio, por medio del programa EPA SWMM de la Agencia de protección del Medioambiente de los Estados Unidos, el comportamiento hidráulico del sistema frente a la tormenta de diseño y la respuesta de dicho sistema con el evento de precipitación del día 11 de junio de 2012, que provoca la inundación. También se presentan los resultados, análisis y observaciones de dichos modelamientos.

* Proyecto de grado.

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas, Escuela de Ingeniería Civil. Director. Mario Garcia Solano, Codirector. Pedro Muñoz Lasprilla.

ABSTRACT

TITLE: STUDY OF EVACUATION SYSTEM FOR WATER FLOODING PROBLEMS IN MICRO BASIN AREA OF "LA IGLESIA" BROOK.

AUTHORS: CASTRO CAMELO, Omar Geovanny

ROJAS SOTO, Cristian Antonio.**

KEY WORDS: Hydraulic modeling, hydrologic study, design for storm, flood, "La Iglesia" brook.

We present a hydrological study of the micro watershed area in La Iglesia brook to determine a design storm and thus have surface runoff from the watershed. To which worked with records of precipitation stations La Flora, CDMB and San Antonio, these series were adjusted using probability functions to find the magnitude of the event for a return period of 25 years, the basin was discretized Thiessen polygons through and found the average design storm for the entire basin with a time of concentration calculated with the formula Kirpich. The magnitude of the peak flow rate was calculated with the method proposed by Chow with triangular unit hydrograph.

In addition to these parameters and system information collected current rainy evacuation, two scenarios are modeled study, through SWMM program of the Environmental Protection Agency of the United States, the hydraulic behavior of the system to the design storm and the response of the system with the precipitation event of the day June 11, 2012, causing flooding. It also presents the results of such analysis and observations of the modelings.

** Project of grade

** Faculty of physicomechanical Engineerings, School of Civil Engineering. Director. Mario Garcia Solano, Codirector. Pedro Muñoz Lasprilla.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad en Bucaramanga y su zona metropolitana, a pesar de que cuenta con una buena posición geográfica y una topografía que favorece una evacuación de aguas lluvias con relativa facilidad, en algunos sectores se presentan continuamente problemas de inundaciones con los cuales se ven afectadas un gran número de familias, uno de los sectores más críticos es la micro cuenca de la Quebrada La Iglesia el cual se vio recientemente afectado debido a un torrencial aguacero provocando el desbordamiento de esta quebrada cuyas aguas alcanzaron cerca de un metro de altura dejando como resultado más de 100 viviendas averiadas, además de que arrastro varios vehículos.

Por lo cual es importante realizar un estudio del sistema de evacuación de aguas pluviales para entender el comportamiento hidrológico de la zona y el comportamiento hidráulico del sistema de alcantarillado.

Para el diseño de las estructuras hidráulicas se usa un patrón que se denomina tormenta de diseño. Las tormentas de diseño se basan en información histórica de precipitación recopiladas de estaciones pluviográficas de la zona en estudio, y cuando no existen dichos datos se generan usando registros de regiones cercanas. Por medio de la tormenta de diseño se obtienen datos de caudal de escorrentía los cuales se pueden obtener por diferentes métodos, tales como el Método Racional y el Método del Hidrograma Unitario.

El Stormwater Management Model (modelo de gestión de aguas pluviales) de la EPA (SWMM) es un modelo numérico que permite simular el comportamiento hidrológico-hidráulico de un sistema de drenaje. El programa nos permite simular la cantidad del agua evacuada, especialmente en alcantarillados urbanos. El módulo de escorrentía o hidrológico de SWMM funciona con una serie de cuencas en las cuales cae el agua en forma de lluvia y se genera la escorrentía. El módulo

de transporte o hidráulico de SWMM analiza el recorrido de estas aguas a través de un sistema compuesto por tuberías, canales, dispositivos de almacenamiento, bombas y elementos reguladores.

SWMM no es un programa del que se vayan a extraer resultados inmediatos. Para ello es necesario recorrer un camino previo, desde la recogida del máximo de información de la cuenca y de la red a analizar, perfiles longitudinales de los colectores, cotas del terreno, definir los datos de lluvia a utilizar, definir las estructuras de captación, y finalmente, realizar los cálculos hidrológicos e hidráulicos. Después de los cálculos y estimaciones realizadas, habría que ir más allá y contrastar con medidas de campo tomadas en la red.

1. PLANTEAMIENTO Y JUSTIFICACION DEL PROBLEMA

Hoy en días los problemas de inundaciones en nuestra región se han vuelto cada vez más frecuentes debido a los fenómenos climatológicos cambiantes y la alteración del régimen de caudales por el constante crecimiento de la intervención antropica de la cuenca.

Los barrios más afectados por la precipitación fueron San Martín, Quebrada La Iglesia, San Pedro y Antonia Santos. El Parque Ecológico La Flora también fue una de las zonas afectadas debido al desbordamiento de la quebrada. De acuerdo con la Corporación Autónoma Regional Para La Defensa de la Meseta de Bucaramanga, CDMB, la capa vegetal con especies protegidas fue arrasada por la fuerza de las aguas, mientras que el sistema de alcantarillado, el sistema eléctrico y los juegos infantiles quedaron seriamente averiados.

Debido a la frecuencia con que se vienen presentando estos fenómenos climatológicos, existe una gran incertidumbre de si en la micro cuenca de La Quebrada La Iglesia se cuenta con el sistema adecuado de evacuación de aguas para hacer frente a este tipo de fenómenos, o si este se ha visto averiado en el tiempo que lleva de uso dejando como resultado el mal funcionamiento del mismo.

2. DEFINICION DE LA ZONA DE ESTUDIO

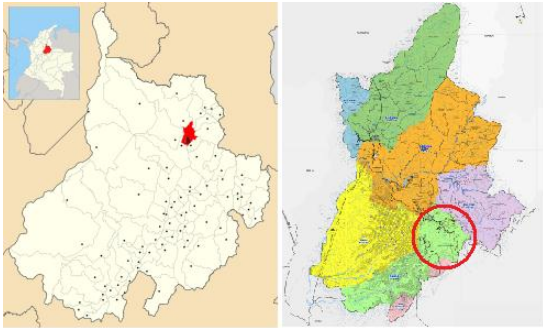
2.1 Ubicación y localización geográfica

La zona de estudio comprende la parte alta del drenaje de la Quebrada La Iglesia, donde nacen las corrientes que la conforman, la cual se encuentra delimitada por las siguientes coordenadas:

1106000E hasta 1111000E y 1276000N hasta 1282000N, en el sistema MAGNA-SIRGAS.

Esta zona hace parte de la cuenca de Rio De Oro, que a su vez pertenece a la Cuenca Superior Del Rio Lebrija.

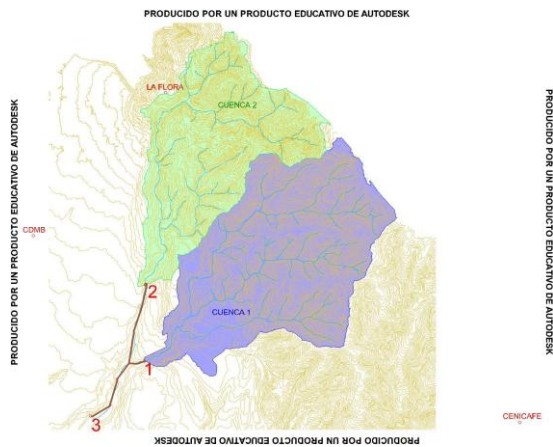
Figura 1. *Ubicación de la zona de estudio*



Fuente: autores.

La micro cuenca de la Quebrada La Iglesia se dividió, para su estudio hidrológico, en dos subcuencas dependiendo al colector al que drenan sus aguas.

Figura 2. Detalles de la cuenca



Fuente: autores

Figura 3. Ubicación de los puntos de interés de la red de alcantarillado



Fuente: Google maps modificado por autores.

La subcuenca La Cascada está ubicada en la parte inferior derecha, cuyo cauce principal es la quebrada La Cascada y sus afluentes, Quebrada Del Siete y Quebrada Cañada Seca que drenan hacia una de las entradas del colector

principal ubicada en la parte sur del barrio La Floresta, denominada como salida subcuenca La Cascada.

La subcuenca La Flora comprende la zona superior izquierda y drena desde la vereda Gualilo Alto hasta la entrada del Box Culvert ubicado en la calle 45 con diagonal 56, salida subcuenca La Flora.

Tabla 1. Características de las cuencas

Subcuenca	La Cascada	La Flora
área(m ²)	5197643.82	3769454.17
longitud cauce principal(m)	4721.49	5000.99
cota máxima(m)	1627	1535
cota mínima(m)	915	966
pendiente(m/m)	0.15	0.11
tiempo de concentración(min)	27.12	32.12

Fuente: autores.

Para la estimación del tiempo de concentración se usan las formulas de Kirpich, de la federal aviation administration y la ecuación de retardo de SCS, tomando como valor de diseño para cada cuenca el menor ya que es el más crítico, el cual en este caso es el valor encontrado con la ecuación de Kirpich.

Formula de Kirpich

$$tc = 0.0078L^{0.77}S^{-0.385}, \text{ minutos}$$

L: Longitud caudal desde aguas arribas hasta la salida, pie.

S: Pendiente promedio de la cuenca, pie/pie

Formula Federal Aviation Administration

$$tc = 1.8(1.1 - C)L^{0.50}/S^{0.333}, \text{ minutos}$$

C: Coeficiente de escorrentía del Método Racional

L: Longitud caudal desde aguas arribas hasta la salida, pie.

S: Pendiente promedio de la cuenca, %.

Ecuación de Retardo de la SCS

$$tc = \frac{100L^{0.80}[(\frac{1000}{C})-9]^{0.7}}{1900S^{0.5}}, \text{ minutos.}$$

CN: Numero de curva del SCS.

L: Longitud caudal desde aguas arribas hasta la salida, pie.

S: Pendiente promedio de la cuenca, %.

Tabla 2. *Tiempos de concentración según Kirpich*

Tiempo de concentracion con ecuacion de Kirpich			
Sub cuenca La Cascada	L	15429.19	pies
	s	0.15	pie/pie
	Tc	27.12	min
Sub cuenca La Flora	L	16403.23	pies
	s	0.11	pie/pie
	Tc	32.11	min

Fuente: Autores

2.2 Características de la zona

2.2.1. Topografía

En esta zona se presenta una topografía variable, la cual presenta un terreno con relieve ondulado y quebrado.

La topografía genera un impacto en el comportamiento del clima de la región debido a la altitud de las montañas y de las depresiones presentes en el terreno.

2.2.2 Clima

La zona en estudio se encuentra afectada por la Zona De Convergencia Intertropical, ZCIT, que consta de una franja de presiones bajas y temperaturas altas en la zona ecuatorial, en donde las líneas de flujo de los vientos alisios que

proviene de los hemisferios norte y sur se encuentran creando movimientos convectivos y favoreciendo la formación de sistemas nubosos.

La combinación del efecto de ZCIT y la orografía de la zona generan procesos que condicionan el comportamiento de la región. Ya que al encontrarse las corrientes eólicas con las cadenas montañosas generan

- Ascensión de los clústeres nubosos de la ZCIT.
- Calentamiento de las nubes por el calor irradiado por la superficie de las montañas, formando corrientes ascendentes de los vientos y nubarrones, desencadenando precipitaciones de tipo convectivo.
- Alteración de la circulación de los frentes fríos y ciclónicos por medio de cambios relativamente bruscos de dirección causados por el choque de los mismos con las laderas del macizo de Santander, desatando aguaceros torrenciales.
- Enfriamiento nocturno de las nubes acumuladas junto a la cordillera, aumentando la densidad de las mismas obligándolas a descender y causando el ascenso del aire más caliente. Lo cual puede desencadenar precipitaciones de gran intensidad.

2.2.3 Precipitación

La zona presenta un régimen bimodal de precipitaciones, con lluvias importantes en los meses de abril a junio y de septiembre y noviembre, además de una temporada seca entre diciembre y marzo.

3. VISITA A LA ZONA DE ESTUDIO

El sistema de drenaje en estudio consta de dos tuberías independientes que parten del punto de salida de cada subcuenca, y confluyen a la altura de la transversal oriental, viaducto La Flora, para seguir como dos tuberías paralelas

hasta que desembocan en la Quebrada La Iglesia, más abajo de la autopista La Flora.

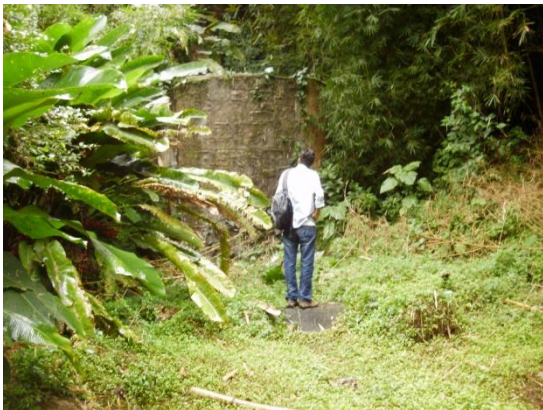
Durante la visita se evidencia la presencia de material solido depositado en las tuberías.

Foto 1. *Estructura de entrega La Puerta del Sol*



Fuente: autores

Foto 2. *Estructura entrega La Presentación.*



Fuente: autores.

Foto 3. *Presencia de sólidos en los sumideros.*



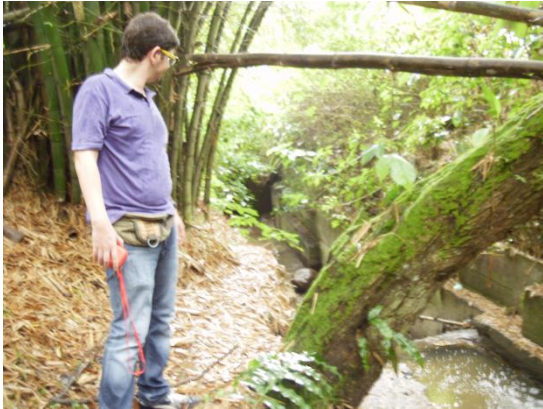
Fuente: autores

Foto 4. *Pozos en El Parque Ecológico La Flora*



Fuente: autores

Foto 5. *Entrada al box culvert.*



Fuente: autores

Foto 6. *Presencia de sólidos en la estructura de entrega de la puerta del sol.*



Fuente: autores.

4. ANALISIS HIDROLOGICO DE LA ZONA DE ESTUDIO

Este análisis inicia con el procesamiento probabilístico de datos de precipitaciones registradas en estaciones pluviográficas para estimar la magnitud de la tormenta de diseño, de cada estación, para un tiempo de retorno dado.

Posteriormente se realiza una distribución espacial para obtener la tormenta de diseño para cada subcuenca. Con los cuales se obtiene un caudal de diseño para cada subcuenca, mediante una relación lluvia-escorrentamiento.

4.1. Selección de estaciones de estudio

La selección de las estaciones de estudio, para determinar la tormenta de diseño, tiene como criterios:

- Proximidad de la estación con la cuenca
- Cantidad de registros de precipitación
- Resolución temporal de los registros de precipitación
- Acceso a los registros

Se tomaron dos estaciones pluviográficas de la CDMB, y una de CENICAFÉ.

4.1.1. Estación La Flora

Instalada en 1979, dentro de la planta de tratamiento de agua potable del Acueducto Metropolitano de Bucaramanga con coordenadas 1107543 este y 1280894 norte, con una elevación de 1100 m.s.n.m.

Esta estación contaba con un pluviógrafo marca THIES-Bottingen, y la información era recopilada en registros semanales.

En abril de 2004 dejó de funcionar por daños en los equipos y fue retirada definitivamente tiempo después.

4.1.2 Estación CDMB

Inicialmente fue instalada en el edificio Telecom, calle 36 con carrera 18, en el año 1974, para luego ser trasladada al edificio de la CDMB, carrera 23 N° 37-63, con coordenadas 1105857 este y 1279071 norte, y una elevación de 950 m.s.n.m. La cual dejó de operar en el año 2006.

Cuenta con un pluviómetro y un pluviografo marca THIES-Bottingen.

4.1.3. Estación CENICAFÉ

La estación San Antonio operada por CENICAFÉ opera desde junio de 1991, ubicada en la Vereda Rosa Blanca en el municipio de Floridablanca, con coordenadas 1112055 este y 1276048 norte y elevación de 1520 m.s.n.m.

El pluviógrafo es marca THIES-Bottingen, y la información esta recopilada en registros diarios y semanales

4.1.4. Selección de datos de precipitación

A partir de datos de precipitación de cada estación [1-2], está disponible la información pluviográfica con una resolución temporal de cada 30 minutos, para las estaciones La Flora y CDMB, y cada 10 minutos para CENICAFÉ.

4.2. Procesamiento estadístico de datos de las estaciones en estudio

Con la información registrada para cada estación se calcularon valores máximos diarios, mensuales y anuales de eventos de precipitación con duración de 30 minutos.

Tabla 3. Máximos anuales de precipitación para 30 minutos de duración.

ESTACION	CDMB	LA FLORA	CENICAFE
AÑO	MAX ANUAL(mm)		
1981		11.1	
1982		16.2	
1983		22.5	
1984		18.7	
1985	30.4	16.8	
1986	27.5	20	
1987	42	26.4	
1988	27.1	22.6	
1989	27.3	31.8	
1990	23.1	18.7	
1991	27.4	34.5	
1992	21.9	17.9	
1993	28.6	18.6	
1994	19	41.4	
1995	19.5	13.2	55.0
1996	29.6	15	26.5
1997	29.4	22	34.9
1998	35.5	31.5	49.0
1999	25.6	20.1	34.5
2000	28.5	23.1	31.0
2001	38.2	33.3	46.0
2002	35.6	23	24.3
2003	27	24.2	39.2
2004	25.2	23.2	29.4
2005	19.7		21.0
2006			28.5
2007			19.2

Fuente: autores

Debido a que el diseño y funcionamiento de las obras hidráulicas están ligados a eventos hidrológicos futuros, es necesario el uso de la estadística y la probabilidad para dar una estimación confiable de precipitación.

4.2.1. Funciones de probabilidad

Estas funciones representan el comportamiento estadístico de una variable aleatoria, en este caso la precipitación máxima anual con duración de 30 minutos, debido a que los tiempos de concentración de cada subcuenca son cercanos a este valor.

4.2.1.1. Periodo de retorno

El reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico ras – 2000, sección II, título D aconseja usar un periodo de retorno de 25 años para el

diseño de colectores principales o emisarios finales de alcantarillado para cualquier nivel de complejidad del sistema. El periodo de retorno es el inverso de la probabilidad de ocurrencia de un evento determinado.

Una vez definido el periodo de retorno es necesario extender el comportamiento de las series de datos a dicho tiempo, para esto es necesario buscar entre varias funciones de distribución de probabilidad teóricas, la que mejor se ajuste a los datos medidos.

4.2.1.2. Distribución de valores extremos tipo I, Gumbel

Función de distribución de probabilidad

$$F(x) = e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}}$$

Función densidad de probabilidad

$$f(x) = \alpha e^{[-\alpha(x-\beta) - e^{-\alpha(x-\beta)}]}$$

Parámetros de la función

$$\alpha = \sigma_y / s$$

$$\beta = \bar{x} - \mu_y / \alpha$$

Donde los valores de σ_y y de μ_y dependen del número de datos de cada serie

Tabla 4. Valores de σ_y y μ_y para distribución tipo Gumbel

n	μ_y	σ_y
10	0.4952	0.9496
15	0.5128	1.0206
20	0.5236	1.0628
25	0.5309	1.0914
30	0.5362	1.1124
35	0.5403	1.1285
40	0.5436	1.1413
45	0.5463	1.1518
50	0.5485	1.1607
55	0.5504	1.1682
60	0.5521	1.1747
65	0.5535	1.1803
70	0.5548	1.1854
75	0.5559	1.1898
80	0.5569	1.1938
85	0.5578	1.1974
90	0.5586	1.2007
95	0.5593	1.2037
100	0.5600	1.2065

Fuente: autores.

4.2.1.3. Distribución Log-Normal

Función de distribución de probabilidad

$$F(x) = \int_0^x \frac{1}{2\sqrt{\pi}} \frac{1}{x\beta} e^{-1/2\left(\frac{\ln x - \alpha}{\beta}\right)^2} dx$$

Parámetros de la función

$$\alpha = \sum_{i=1}^n \frac{\ln x_i}{n}$$

$$\beta = \left[\sum_{i=1}^n \frac{(\ln x_i - \alpha)^2}{n} \right]^{\frac{1}{2}}$$

4.2.1.4. Distribución Log-Pearson tipo III

Función de distribución de probabilidad

$$F(x) = \int_{x_0}^x \frac{(\ln x - x_0)^{\gamma-1} e^{-\frac{\ln x - x_0}{\beta}}}{x \beta^\gamma \Gamma(\gamma)} dx$$

Parámetros de la función

$$\gamma = \frac{4}{C_{S_{\ln x}}^2}$$

$$\beta = \frac{C_{S_{\ln x}} S_{\ln x}}{2}$$

$$x_0 = \bar{x} \ln x - 2 \frac{S_{\ln x}}{C_{S_{\ln x}}}$$

4.2.2. Prueba de bondad de ajuste

Para evitar diseños sobredimensionados y costosos o subdimensionados y peligrosos, se debe escoger cuidadosamente la función de distribución de probabilidad más adecuada a la serie de datos.

La prueba Kolmogorov-smirnov permite escoger la función más adecuada para cada estación. Esta consiste en comparar el máximo valor absoluto de la diferencia D entre la función de distribución de probabilidad esperada y la estimada con un valor crítico d que depende del número de datos y del nivel de significancia.

$$D = \max |F_0(x_m) - F(x_m)|$$

Donde

$$F_0(x_m) = 1 - \frac{m}{n-1}$$

m : valor del orden de la variable en la serie ordenada de mayor a menor.

n: numero de datos de la serie.

Tabla 5. Prueba bondad de ajuste

Prueba de bondad de ajuste Kolmogorov-Smirnov	
Estación	Funcion de mejor ajuste a la serie de datos
CDMB	Log-Normal
La Flora	Log-Normal
CENICAFÉ	Gumbel

Fuente: autores.

En la tabla anterior se observa la función de mejor ajuste para cada estación en estudio.

4.2.3. Análisis de frecuencia utilizando factores de frecuencia

Esta metodología, propuesta por Chow, permite el cálculo de la magnitud de eventos extremos determinando una relación entre el factor de frecuencia y el periodo de retorno para una distribución dada.

$$x_T = \bar{x} + K_T S$$

La magnitud del evento extremo x_T se representa como la media más el factor de frecuencia K_T por la desviación estándar de la serie de datos. El factor de frecuencia depende de cada función de distribución de probabilidad.

4.2.3.1. Distribución valor extremo tipo I, Gumbel

$$K_T = -\frac{\sqrt{6}}{\pi} \left\{ 0.5772 + \ln \left[\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right] \right\}$$

T: periodo de retorno

4.2.3.2. Distribución Log-Pearson

$$K_T = z + (z^2 - 1)K + \frac{1}{3}(z^3 - 6z)K^2 - (z^2 - 1)K^3 + zK^4 + \frac{1}{3}K^5$$

$$y_T = \bar{y} + K_T S_y$$

4.2.3.3. Distribución Log-Normal

$$z = w - \frac{2.515517 + 0.802853w + 0.010328w^2}{1 + 1.432788w + 0.189269w^2 + 0.001308w^3}$$

$$K_T = z$$

$$y_T = \bar{y} + K_T S_y$$

Tabla 6. Magnitud esperada del evento para un periodo de retorno de 25 años para cada estación.

Estación	n	T(años)	f.d.p	XT(mm)
CDMB	21	25	Log-Normal	39.77
La Flora	24	25	Log-Normal	37.56
CENICAFE	13	25	Gumbel	56.37

Fuente: autores.

Donde:

n: numero de datos de la serie

f.d.p: función de distribución de probabilidad escogida

T: periodo de retorno

XT: Magnitud esperada del evento para cada estación.

En la tabla anterior se encuentran los valores esperados de precipitación para cada estación para un tiempo de retorno de 25 años

4.3 Tormenta de diseño

Debido a la morfología de cada subcuenca se asume como duración de la tormenta de diseño el tiempo de concentración ya determinado para cada una de ellas.

Tabla 7. Duración de tormenta de diseño

Duración de tormenta de diseño	
Subcuenca La Cascada	27.12 minutos
Subcuenca La Flora	32.11 minutos

Fuente: autores.

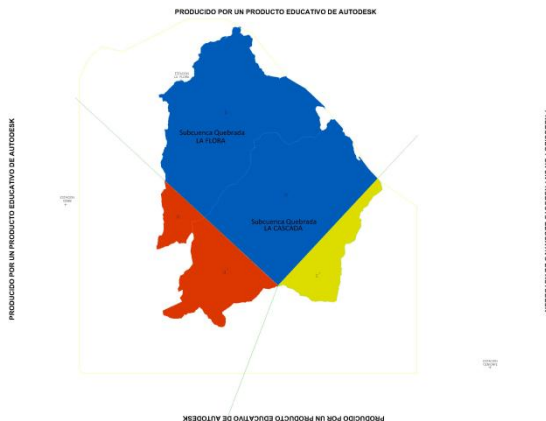
4.3.1. Distribución espacial

Por medio de polígonos de Thiessen, se caracteriza la magnitud de diseño partiendo del área de cada subcuenca con la precipitación esperada de la estación más cercana a ella

$$\overline{hp} = \frac{1}{Area\ total} \sum_{i=1}^n Area_i hp_i$$

\overline{hp} : altura de precipitación para el área total de cada subcuenca.

Figura 4. Aéreas aferentes para cada estación.



Fuente: Autores.

Tabla 8. Precipitación esperada para el área aferente de cada estación.

PRECIPITACION PARA CADA AREA AFERENTE	
ESTACIÓN	Xt (mm)
CDMB	39.77
LA FLORA	37.59
CENICAFE	56.09

Fuente: Autores

Tabla 9. Altura de precipitación esperada para cada subcuenca.

SUBCUENCA LA CASCADA		
	AREAS (m ²)	AREA(%)
a ¹ =	1222104.17	23.51
b ¹ =	3178077.19	61.14
c ¹ =	797462.46	15.34
total=	5197643.82	100
MAGNITUD TORMENTA DE DISEÑO		
hp=	40.94	mm
SUBCUENCA LA FLORA		
	AREAS (m ²)	AREA(%)
a=	346580.84	9.19
b=	3422873.33	90.81
total=	3769454.17	100
MAGNITUD TORMENTA DE DISEÑO		
hp=	37.79	mm

Fuente: Autores.

hp: valor de la magnitud de la tormenta de diseño.

4.3.2. Hidrograma unitario triangular y caudal de diseño

En la zona de estudio no se cuenta con registros adecuados de escurrimiento, por lo cual es necesario determinar dicho valor a partir de las características de cuenca y la precipitación.

El hidrograma unitario triangular permite, teniendo en cuenta el área de la cuenca y la magnitud de precipitación esperada, determinar un caudal pico de escorrentía para cada subcuenca y su tormenta de diseño.

$$d_e = \sqrt{t_c}$$

$$t_r = 0.6t_c$$

$$t_p = \frac{d_e}{2} + t_r$$

$$t_b = 2.67t_p$$

$$q_p = \frac{0.555Area}{t_b}$$

$$Q_p = q_p \bar{h}_p$$

Donde:

t_c : tiempo de concentración, horas

d_e : duración en exceso, horas.

t_p : tiempo pico, horas

t_b : tiempo base, horas

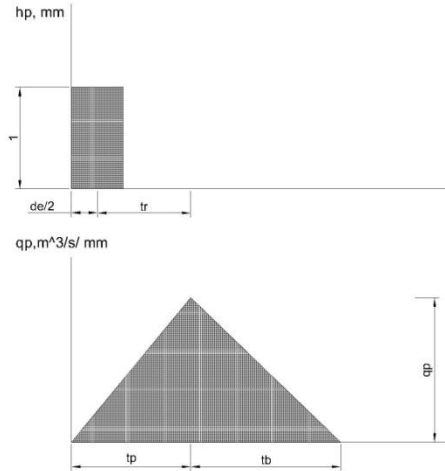
t_r : tiempo de retraso, horas

A : área de la cuenca, km^2

q_p : gasto pico, $\text{m}^3/\text{s}/\text{mm}$.

Q_p : caudal pico de diseño, m^3/s

Figura 5. Hidrograma unitario triangular



Fuente: Autores

Tabla 10. Caudales de diseño.

TORMENTA DE DISEÑO					
CUENCA LA CASCADA			CUENCA LA FLORA		
hp	40.94	mm	hp	37.79	mm
Tc	27.19	min	Tc	32.11	min
Area	5197643.82	m²	Area	3769454.17	m²
HIDROGRAMA UNITARIO TRIANGULAR					
de	1.35	h	de	1.46	h
tr	0.27	h	tr	0.32	h
tp	0.95	h	tp	1.05	h
tb	2.52	h	tb	2.81	h
qp	1.14	m³/s/mm	qp	0.74	m³/s/mm
CAUDAL DE DISEÑO					
Qp	46.80	m³/s	Qp	28.13	m³/s
Qp	46798.76	lps	Qp	28125.70	lps

Fuente: Autores.

hp: valor de la magnitud de la tormenta de diseño.

Tc: tiempo de concentración.

Qp: caudal de diseño.

5. MODELAMIENTO CON EPA SWMM

5.1 Generalidades

EPA SWMM es un software libre desarrollado por la United States Environmental Protection Agency, EPA, para el estudio, diseño y análisis de redes de drenaje.

Este programa simula la formación de escorrentía y cargas contaminantes sobre cuencas y luego lleva este flujo a través de la red de drenaje. EPA SWMM trabaja el modelo en varias capas.

5.1.1 Capa atmosférica

Por medio de elementos tipo pluviómetros se modela la precipitación de una cuenca o área de captación, por medio de series de datos que relacionan precipitación o intensidad de precipitación contra tiempo.

5.1.2 Capa terreno

Esta capa recibe la precipitación y modela la escorrentía superficial calculando las pérdidas por interceptación, almacenamiento superficial e infiltración, además tiene en cuenta la rugosidad y la impermeabilidad de cada cuenca.

También permite modelar el efecto de la evaporación, la nieve, aguas subterráneas y acuíferos, pero en este caso de estudio no se utilizan.

En esta capa también se encuentra la red de drenaje, la cual consiste en los conductos y los pozos de inspección. Para modelar la red se toman datos de cotas de fondo, diámetros y rugosidad de dichos elementos.

Para el modelamiento hidráulico, permite trabajar con el modelo de Onda Dinámica, resolviendo las ecuaciones de conservación de masa y de cantidad de movimiento en cada conducto y cada pozo, lo cual permite una respuesta más cercana al comportamiento físico real del flujo en la red, teniendo en cuenta fenómenos tales como flujo a presión, contraflujo y remansos en tuberías.

5.2 Modelo con tormenta de diseño

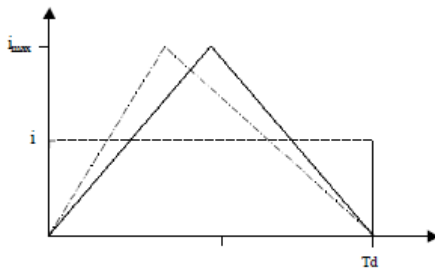
La Empresa Pública de Alcantarillado de Santander S.A. ESP, EMPAS, suministro la información de diseño de redes de alcantarillado, la cual consiste en materiales, diámetros, longitud y pendientes de los tramos de tuberías, así como la ubicación y cotas de cada pozo de inspección; como también la información de aportes externos de caudal a la red.

Para simular la distribución temporal de la tormenta de diseño, se propone una tormenta triangular de la forma

$$P = \frac{i_{max} T_d}{2}$$

Donde P y T_d corresponden a la magnitud y la duración de la tormenta de diseño.

Figura 6. *Distribución temporal de la tormenta de diseño.*



Fuente: Autores.

Al comparar los caudales esperados por el estudio hidrológico y los generados por el programa se observa que son muy cercanos, por lo que la capa atmosférica está dando una buena respuesta del modelo. Como se observa en la siguiente tabla.

Tabla 11. Comparación entre caudales teóricos y generados por EPA SWMM.

SUBCUENCA	CAUDAL DE ESCORRENTIA (m ³ /s)	
	La Cascada	La Flora
ESTUDIO HIDROLOGICO	46.80	28.13
EPA SWMM	43.89	26.57

Fuente: Autores.

Los resultados de la simulación se presentan en forma de tablas y gráficos. En las tablas siguientes podemos ver el comportamiento en cada nodo del sistema.

El nodo N1 corresponde al punto donde drena sus aguas la subcuenca La Flora, y en el nodo N40 drena la subcuenca La Cascada.

En la siguiente figura se encuentran resaltados estos resultados, tomados del software

Figura 7. Capturas de pantalla del resumen de aportes de caudal en cada nodo generado por EPA SWMM

```

.....
Resumen de Aportes en Nodos
.....
-----

```

Nudo	Tipo	Aporte		Instante de Aporte Máximo	Volumen de Aporte Lateral	Volumen de Aporte Total
		Máximo LPS	Máximo LPS			
N1	JUNCTION	26572.73	26572.73	0 01:22	142.445	142.445
N2	JUNCTION	0.00	26572.97	0 01:22	0.000	142.445
N3	JUNCTION	74.86	26647.78	0 01:22	1.078	143.523
N4	JUNCTION	26.22	26622.24	0 01:22	0.507	144.031
N5	JUNCTION	447.72	43346.34	0 00:50	6.447	478.334
N38	JUNCTION	210.00	49440.10	0 00:50	3.024	481.214
N40	JUNCTION	43885.38	43885.38	0 01:16	212.739	212.737
N41	JUNCTION	0.00	43885.46	0 01:16	0.000	212.803
N42	JUNCTION	0.00	43885.90	0 01:16	0.000	212.856

Fuente: Autores.

Figura 8. Captura de pantalla del resumen de Inundación en los nodos, generado por EPA SWMM

```

*****
Resumen de Inundación en Nodos
*****

Inundación se refiere a toda el agua que rebosa de un nudo, quede
-----

```

Nudo	Horas Inundado	Caudal Máximo LPS	Instante en que sucede el Máximo días hr:min	Volumen Total Inund. 10 ⁶ ltr	Volumen Máximo Estanc. ha-mm
N7	0.01	4781.77	0 01:31	0.002	0.00
N10	0.01	15173.42	0 00:44	0.164	0.00
N11	0.01	2502.33	0 00:48	0.001	0.00
N12	0.01	5821.44	0 00:48	0.011	0.00
N13	0.01	8056.92	0 00:48	0.021	0.00
N14	0.01	7643.61	0 00:48	0.027	0.00
N15	0.01	9890.34	0 00:48	0.045	0.00
N17	0.01	14293.53	0 00:52	0.164	0.00
N18	0.01	6132.09	0 00:47	0.045	0.00
N19	0.01	6007.63	0 00:36	0.086	0.00
N20	0.02	11093.66	0 00:47	0.264	0.00
N21	0.01	9969.32	0 00:38	0.225	0.00
N23	0.01	4165.76	0 01:02	0.005	0.00
N28	0.01	17714.92	0 01:02	0.151	0.00
N29	0.01	13276.52	0 00:54	0.066	0.00
N30	0.99	24621.06	0 01:12	49.637	0.00
N31	1.46	16724.05	0 02:17	64.692	0.00
N32	0.01	5341.89	0 02:19	0.083	0.00

Fuente: Autores.

Los pozos correspondientes a los nodos N30 y N31 presentan problemas de inundación, aquí es donde confluyen las dos tuberías que vienen de cada subcuenca, por lo que se puede concluir que en estos tramos de la red, la tubería existente es incapaz de transportar el caudal de diseño por lo que se tendría que reforzar el sistema en estas secciones.

5.3 Modelo con el evento del día 11 de junio de 2012

A partir de los datos de precipitación del día en estudio de cada estación y de las características morfológicas de cada cuenca, el programa genera la escorrentía superficial.

Los aportes externos a la red se generan con la información pluviográfica de la estación correspondiente.

La simulación genera para la subcuenca La Flora, un caudal de 33.59 m³/s, como se observa en la figura 8, el cual supera el caudal pico de diseño que arroja el estudio hidrológico, 28.13 m³/s. este resultado explica porque se presentó

inundación ya que la escorrentía generada por el evento de precipitación sobrepasó el caudal de diseño.

Figura 9. Capturas de pantalla del resumen de aportes de caudal en cada nodo generado por EPA SWMM

```

*****
Resumen de Aportes en Nodos
*****
-----

```

Nodo	Tipo	Aporte Lateral Máximo LPS	Aporte Total Máximo LPS	Instante de Aporte Máximo días hr:min	Volumen Aporte Lateral 10 ⁻⁶ ltr	Volumen Aporte Total 10 ⁻⁶ ltr
N1	JUNCTION	33592.84	33592.84	0 18:00	198.486	198.486
N2	JUNCTION	0.00	33594.71	0 18:00	0.000	198.479
N3	JUNCTION	81.30	33812.95	0 18:00	0.518	198.971
N4	JUNCTION	22.82	34129.63	0 17:58	0.217	199.085
N37	JUNCTION	184.70	47408.15	0 17:23	1.217	1094.269
N38	JUNCTION	88.75	47922.05	0 17:23	0.581	1094.719
N40	JUNCTION	32712.62	32712.62	0 18:00	237.938	237.938
N41	JUNCTION	0.00	32711.14	0 18:00	0.000	237.992
N42	JUNCTION	0.00	32722.29	0 18:00	0.000	238.011
N43	JUNCTION	231.94	32964.98	0 18:00	1.508	239.494

Fuente: Autores.

Figura 10. Captura de pantalla del resumen de Inundación en los nodos, generado por EPA SWMM

```

-----

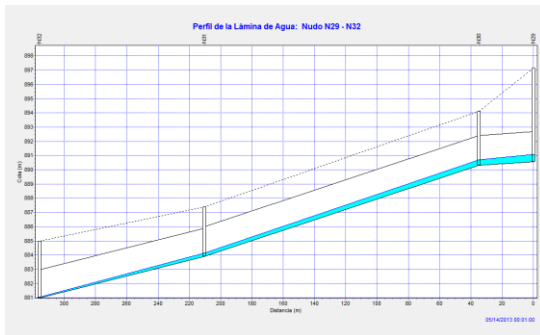
```

Nodo	Horas Inundado	Caudal Máximo LPS	Instante en que sucede el Máximo días hr:min	Volumen Total Inund. 10 ⁻⁶ ltr	Volumen Máximo Estanc. ha-mm
N4	0.01	10047.78	0 18:01	0.024	0.00
N5	0.01	22075.91	0 17:58	0.242	0.00
N6	0.01	26528.64	0 18:03	0.297	0.00
N7	0.01	30936.57	0 17:58	0.552	0.00
N8	0.01	10168.61	0 17:58	0.026	0.00
N9	0.04	43719.66	0 17:58	2.290	0.00
N10	0.02	25803.68	0 17:58	0.635	0.00
N11	0.01	13229.45	0 17:59	0.111	0.00
N12	0.01	19909.79	0 17:59	0.153	0.00
N13	0.01	16887.33	0 17:59	0.119	0.00
N14	0.01	14202.66	0 18:03	0.093	0.00
N15	0.01	14847.57	0 17:59	0.071	0.00
N16	0.03	10572.32	0 18:03	0.209	0.00
N17	0.01	21675.97	0 18:01	0.159	0.00
N18	0.01	12422.28	0 18:02	0.119	0.00
N19	0.16	10723.92	0 18:02	0.791	0.00
N20	0.02	18006.67	0 18:02	0.247	0.00
N21	0.01	15457.02	0 18:02	0.128	0.00
N23	0.01	15177.36	0 18:02	0.071	0.00
N26	0.01	10606.95	0 18:02	0.010	0.00
N28	0.01	33561.67	0 18:03	0.186	0.00
N29	0.01	17987.42	0 18:05	0.085	0.00
N30	0.57	29355.39	0 18:01	15.848	0.00
N31	1.24	15075.45	0 17:59	46.609	0.00
N32	0.01	10316.66	0 17:07	0.033	0.00

Fuente: Autores.

La figura 10 indica problemas en el mismo sector tanto para el evento como para la tormenta de diseño.

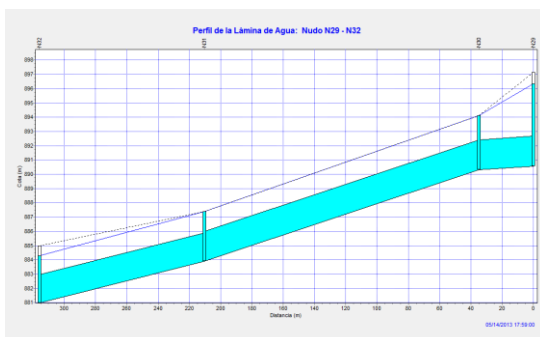
Figura 11. *Perfil de tubería antes del evento.*



Fuente: Autores.

La figura 11 muestra el perfil de tubería antes de empezar el evento de lluvia, el caudal que muestra son los aportes tributarios.

Figura 12. *Perfil de tubería durante el evento cuando hay máxima escorrentía.*



Fuente: Autores

En la figura 12 la tubería está trabajando con flujo a presión en el momento donde el caudal transportado es máximo y se puede ver que los pozos están llenos, generando la inundación.

6. CONCLUSIONES

La zona correspondiente a los barrios San Martín, San Pedro, Quebrada la Iglesia y Antonio Santos muestran un alto riesgo de inundación debido a su ubicación y topografía, estas inundaciones generan un impacto negativo en la comunidad presentando pérdidas materiales y enfermedades debidas a la contaminación presente en el agua.

El aumento de la intervención antropica en la cuenca, está generando un aumento en la escorrentía, ya que la cuenca misma está perdiendo su capa permeable lo cual lleva a un aumento de flujo superficial.

El sistema de evacuación de aguas drena desde la subcuenca La Flora a través del colector maestro La Flora, el cual consta de un box culvert seguido por una tubería cerrada hasta la parte baja del viaducto, donde confluye con la tubería que viene desde la subcuenca La Cascada. A partir de este punto el agua se transporta por dos tubos en paralelo hasta el punto final de vertido en la Quebrada La Iglesia.

En la estructura actual de drenaje, hay carencia de elementos que impidan la entrada de residuos sólidos al interceptor maestro, los cuales se acumulan a lo largo del sistema disminuyendo de forma considerable la capacidad de transporte de los conductos.

La modelación en el programa del sistema de evacuación de aguas, permite identificar que en los pozos N30 y N31 la red presenta deficiencia en su capacidad de transporte, generando la salida del agua en exceso a la superficie del terreno.

A pesar que EPA SWMM puede ser una herramienta poderosa a la hora de analizar redes de alcantarillados, tiene limitaciones, tales como no permitir modelar estructuras de disipación de energía en los conductos y no contar con un modelamiento de transporte y depósito de sólidos.

7. RECOMENDACIONES

Aumentar los diámetros de las tuberías a los recomendados en los siguientes tramos críticos observados en el modelo:

Tabla 12. *Diámetros recomendados para evitar inundaciones en el sistema actual.*

POZO INICIO DEL TRAMO	POZO FINAL DEL TRAMO	DIAMETRO DE TUBERIA EXISTENTE (m)	DIAMETRO RECOMENDADO (m)
N30	N31	2.1	2.4
N31	N32	2	2.6
N32	N33	2	2.6
N33	N34	2	2.4
N34	N35	2	2.5
N35	N36	2	2.4
N36	N37	2	2.4
N37	N38	2	2.4
N38	Salida del sistema	2	2.4

Fuente: Autores.

Implementar programas de limpieza en el interceptor, que impidan la entrada y almacenamiento de residuos sólidos.

Desarrollar sistemas de alerta tempranas que permitan a la comunidad reaccionar de manera oportuna ante un posible evento de inundación.

Promover una cultura ciudadana que permita concientizar a los habitantes de las zonas aledañas a la red, sobre la problemática generada por el manejo inadecuado de las basuras y el efecto de esto sobre el sistema.

Desarrollar medias o programas para la conservación y mejoramiento de la microcuenca.

BIBLIOGRAFIA

[1] ALLADO, CARLOS Y FUENTES, LUIS, Determinación de tormentas de diseño a partir de datos pluviográficos en zona media de la cuenca del Rio Frio, Tesis de grado, Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ciencias Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Civil, Bucaramanga, 2009.

[2] ARDILA, DIANA Y CALDERON, LUIS, Generación de tormentas de diseño para las estaciones meteorológicas de la cuenca del Rio de Oro, Tesis de grado, Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ciencias Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Civil, Bucaramanga, 2006.

APARICIO MIJARES, FRANCISCO JAVIER, Fundamentos de hidrología de superficie, editorial Limusa, 1992.

CHOW, V.; MAIDMENT, D.; MAYS, L.; Manual de hidrología aplicada, Mc Graw-Hill, 1994.

GRUP DE RECERCA FLUMEN, Departamento de ingeniería hidráulica, marítima y ambiental, UPC, Curso Flumen, 2007.

GRUPO MULTICLIPLINAR DE MODELAMIENTO DE FLUIDOS, SWMM modelo de gestión de aguas, Manual del usuario, 2005.

MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO (2000), Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS 2000).

ANEXOS

ANEXO A

PROCESO DE INFORMACION PLUVIOGRAFICA

(Estas son hojas de cálculo de Excel y se encuentran en una carpeta denominada ANEXO A)

ANEXO B

PENDIENTE MEDIA DEL TERRENO

(Estas son hojas de cálculo de Excel y se encuentran en una carpeta denominada ANEXO B)

ANEXO C

TIEMPOS DE CONCENTRACION Y CAUDAL DE DISEÑO

	kirpich	federal aviation admon	retardo SCS	california culverts practice
cuenca2	L	16403,25 pies	C	0,46
	s	0,11 pie/pie	L	16403,25 pies
			S	30,89 %
	Tc= 32,11 min	Tc= 47,08 min	Tc 64,04 min	Tc 30,65 min

	kirpich	federal aviation admon	retardo SCS	california culverts practice
cuenca 1	L	15486,49 pies	C	0,46
	s	0,15 pie/pie	L	15486,49 pies
			S	45,69 %
	Tc 27,19 min	Tc 40,15 min	Tc 40,78 min	Tc 27,24 min

$t_c = 0.0078L^{0.77}S^{-0.385}$
 L = longitud del canal desde aguas arriba hasta la salida, pies
 S = pendiente promedio de la cuenca, pies/pie

$t_c = 1.8(1.1 - C)L^{0.50}/S^{0.333}$
 C = coeficiente de escorrentía del método racional
 L = longitud del flujo superficial, pies
 S = pendiente de la superficie, %

$t_c = \frac{100 L^{0.8} [(1,000/CN) - 9]^{0.7}}{1,900 S^{0.5}}$
 L = longitud hidráulica de la cuenca (mayor trayectoria de flujo), pies
 CN = número de curva SCS
 S = Pendiente promedio de la cuenca, %

$t_c = 60(11.9L^3/H)^{0.385}$
 L = longitud del curso de agua más largo, mi
 H = diferencia de nivel entre la divisoria de aguas y la salida, pies

CUENCA 1		
	AREAS (m ²)	AREA(%)
a`=	1222104,17	23,51
b`=	3178077,19	61,14
c`=	797462,46	15,34
total=	5197643,82	100

CUENCA 2		
	AREAS (m ²)	AREA(%)
a=	346580,84	9,19
b=	3422873,33	90,81
total=	3769454,17	100

TORMENTAS	
	Xt (mm)
CDMB	39,77
LA FLORA	37,59
CENICAFE	56,09

TORMENTA DE DISEÑO	
hp=	40,94

TORMENTA DE DISEÑO	
hp=	37,79

$$\bar{h}_p = \frac{1}{A_T} \sum_{i=1}^n A_i h_{pi}$$

CAUDAL DE DISEÑO			
CUENCA 1		CUENCA 2	
Tc=	27,12 min	Tc=	32,11 min
de=	1,34 h	de=	1,46 h
tr=	0,27 h	tr=	0,32 h
tp=	0,94 h	tp=	1,05 h
tb=	2,52 h	tb=	2,81 h
qp=	1,15 m ³ /seg/mm	qp=	0,74 m ³ /seg/mm
Qp=	46,88 m ³ /seg	Qp=	28,13 m ³ /seg

$$d_e = 2 \sqrt{t_c}$$

$$t_r = 0.6 t_c$$

$$t_p = \frac{d_e}{2} + t_r$$

$$t_b = 2.67 t_p$$

$$q_p = \frac{0.555 A}{t_b}$$

ANEXO D

INFORMACION INGRESADA EN EPA SWMM

SERIES TEMPORALES PARA EL DIA 11 DE JUNIO DE 2012 INGRESADAS EN

EPA SWMM

INFORMACION INGRESADA EN EPA SWMM

NODO	AREA m^2	LONGITUD m	ANCHO DE CUENCA m	PENDIENTE MEDIA DEL TERRENO	AREA IMPERMEABLE	AREA PERMEABLE	% AREA IMPERMEABLE	AREA Ha
3	9484,26	171,50	55,30	24,1	0	9484,2569	0,00	0,9484
4	3949,70	95,02	41,57	16,4	0	3949,7046	0,00	0,3950
5	12198,17	195,76	62,31	18,99	0	12198,1686	0,00	1,2198
6	2712,04	79,65	34,05	7,74	0	2712,0385	0,00	0,2712
7	7791,95	153,92	50,62	42,21	0	7791,9505	0,00	0,7792
8	1670,57	71,70	23,30	59,96	0	1670,5699	0,00	0,1671
12	11285,25	202,85	55,63	22,25	0	11285,2547	0,00	1,1285
17	25800,20	255,23	101,09	18,73	0	25800,1974	0,00	2,5800
18	10581,78	156,22	67,74	26,47	0	10581,7779	0,00	1,0582
22	14215,60	202,00	70,37	32,23	0	14215,6	0,00	1,4216
29	78952,20	381,40	207,01	24,07	18167,95	60784,2504	23,01	7,8952
30	5253,68	155,16	33,86	16,44	321,06	4932,62	6,11	0,5254
31	194211,41	1000,14	194,18	19,34	54275,28	139936,13	27,95	19,4211
32	35449,86	309,19	114,65	31,74	23693,95	11755,91	66,84	3,5450
33	63055,59	403,84	156,14	24,1	49385,2	13670,39	78,32	6,3056
34	9656,76	328,48	29,40	13,1	6322,76	3334	65,47	0,9657
35	29758,69	314,16	94,72	32,03	24814,63	4944,06	83,39	2,9759
36	51626,48	372,23	138,70	23,34	40306,54	11319,94	78,07	5,1626
37	21400,73	400,56	53,43	19,22	15889,91	5510,82	74,25	2,1401
38	10284,54	163,29	62,98	23,05	5744,77	4539,77	55,86	1,0285
39	6263,97	183,68	34,10	25,5	3003,27	3260,7	47,95	0,6264
43	26968,84	311,94	86,46	25,32	11611,02	15357,82	43,05	2,6969
45	19133,34	287,22	66,62	31,06	7361,12	11772,22	38,47	1,9133
51	10658,94	286,44	37,21	22,29	2181,21	8477,73	20,46	1,0659
CUENCA 1a	1408110,16	2374,07	593,12	22,35	123877,37	1284232,79	8,80	140,8110
CUENCA 1b	1932763,65	2620,05	737,68	52,32	21458,73	1911304,92	1,11	193,2764
CUENCA 1c	941513,74	1887,00	498,95	58,99	0	941513,74	0,00	94,1514
CUENCA 1d	92391,02	282,24	327,35	48,42	0	92391,02	0,00	9,2391
CUENCA 1e	32879,35	450340,00	0,07	49,07	0	32879,35	0,00	3,2879
CUENCA 1f	92068,39	420,46	218,97	22,09	0	92068,39	0,00	9,2068
CUENCA 1g	567075,70	805,28	704,19	85,63	1371,27	565704,43	0,24	56,7076
CUENCA 1h	130262,77	457,35	284,82	54,98	949,266	129313,50	0,73	13,0263
CUENCA 2a	330779,69	993,45	332,96	15,51	186423,55	144356,14	56,36	33,0780
CUENCA 2b	2478379,08	4007,53	618,43	34,59	496372,6153	1982006,46	20,03	247,8379
CUENCA 2c	960295,41	2014,41	476,71	35,18	118114,9647	842180,44	12,30	96,0295

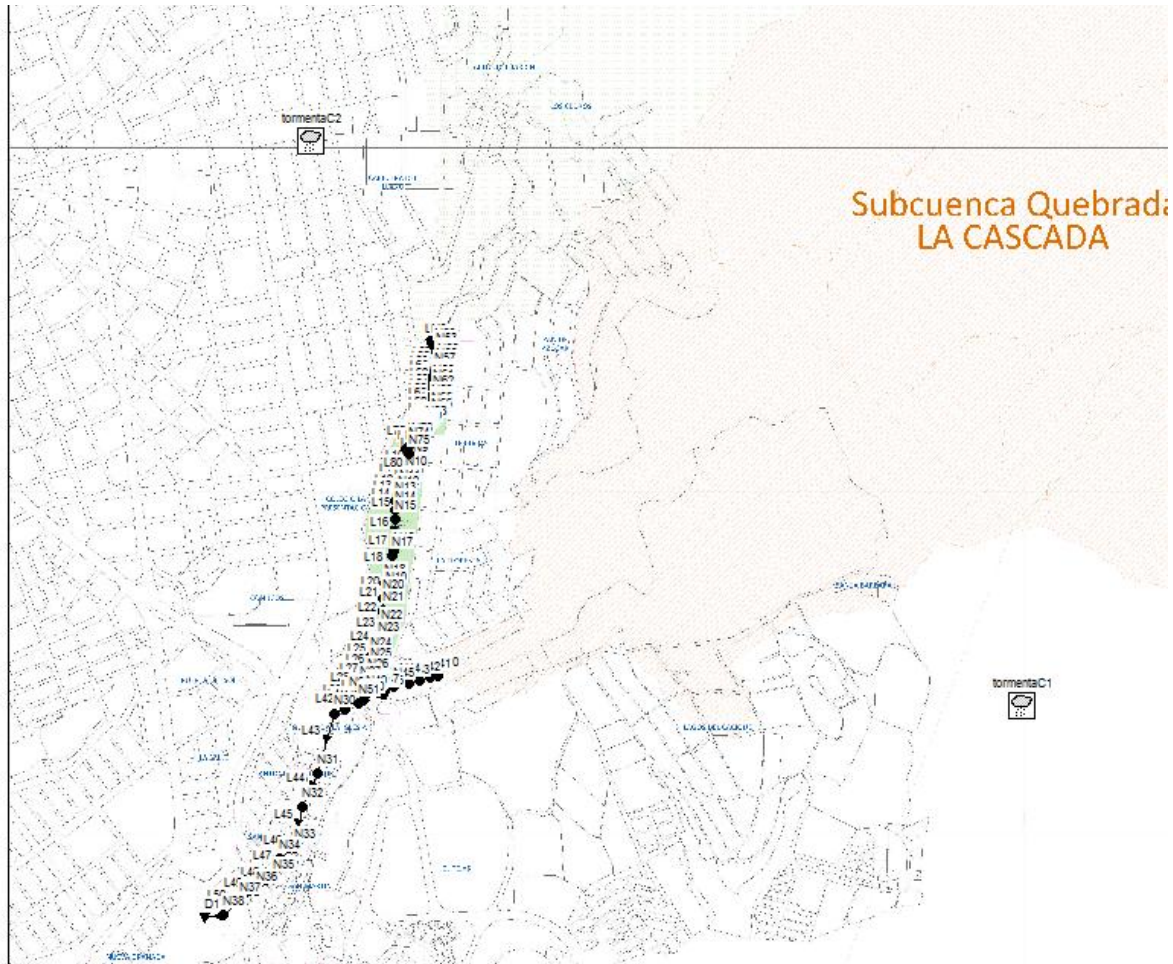
**SERIES TEMPORALES PARA EL DIA 11 DE JUNIO DE 2012 INGRESADAS EN
EPA SWMM**

ESTACION				
HORA		LA FLORA	CDMB	CENICAFE
0_1	0	0	0	0
1_2	1	0	0	0
2_3	2	0	0	0
3_4	3	0	0	0
4_5	4	0	0	0
5_6	5	0	0	0
6_7	6	0	0	0
7_8	7	0	0	0
8_9	8	0	0	0,1
9_10	9	0	0	0
10_11	10	0	0,3	1,6
11_12	11	0	0	1,1
13_1	12	0	0	0
1_2	13	0	0	0
2_3	14	0	0	0
3_4	15	0,6	0,1	0,2
4_5	16	15,6	25,8	15,6
5_6	17	44	31,1	4,1
6_7	18	0	0,2	0,1
7_8	19	0	0,1	0
8_9	20	0	0	0
9_10	21	0	0	0
10_11	22	0	0	1
11_12	23	0,4	0,4	0,3

ANEXO E

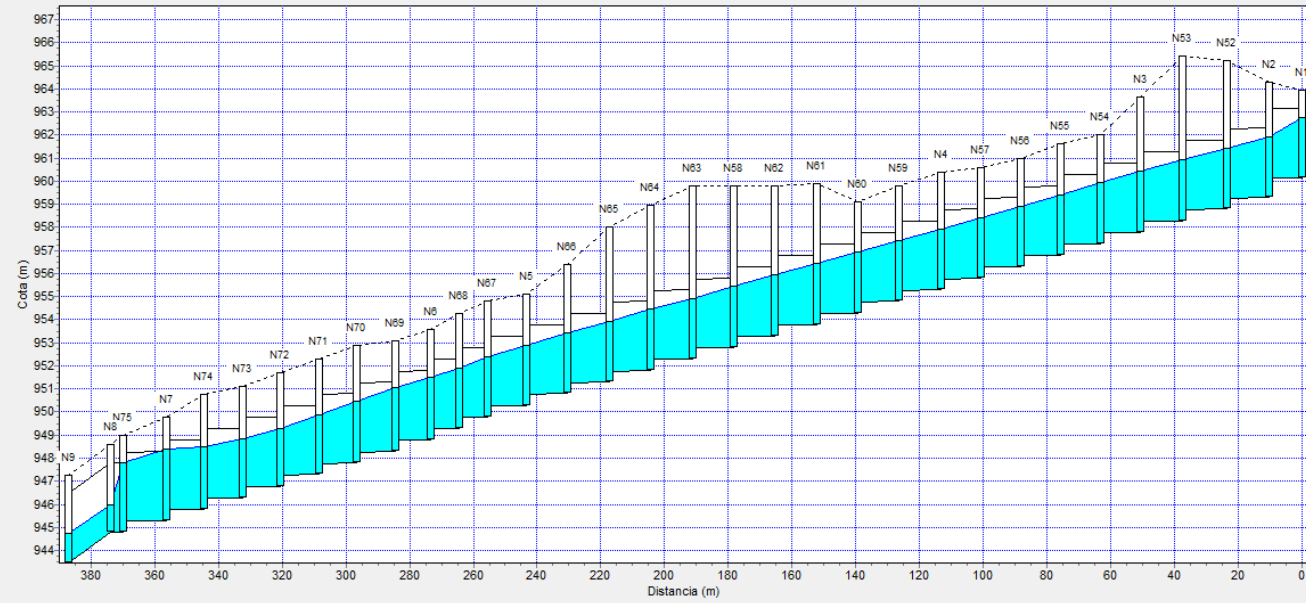
PLANO GENERAL Y PERFILES DEL MODELADO EN EPA SWMM PARA LA TORMENTA DE DISEÑO

PLANO GENERAL DEL MODELADO EN EPA SWMM PARA LA TORMENTA DE DISEÑO



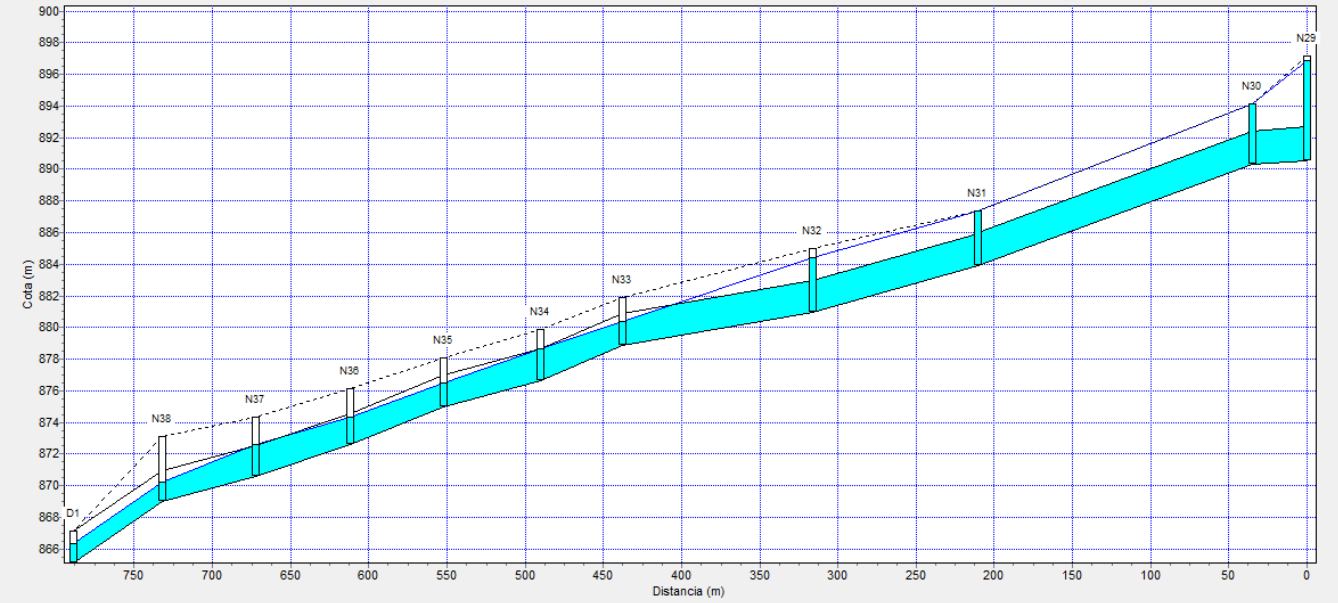
PERFILES DEL MODELADO EN EPA SWMM PARA LA TORMENTA DE DISEÑO

Perfil de la Lámina de Agua: Nudo N1 - N9



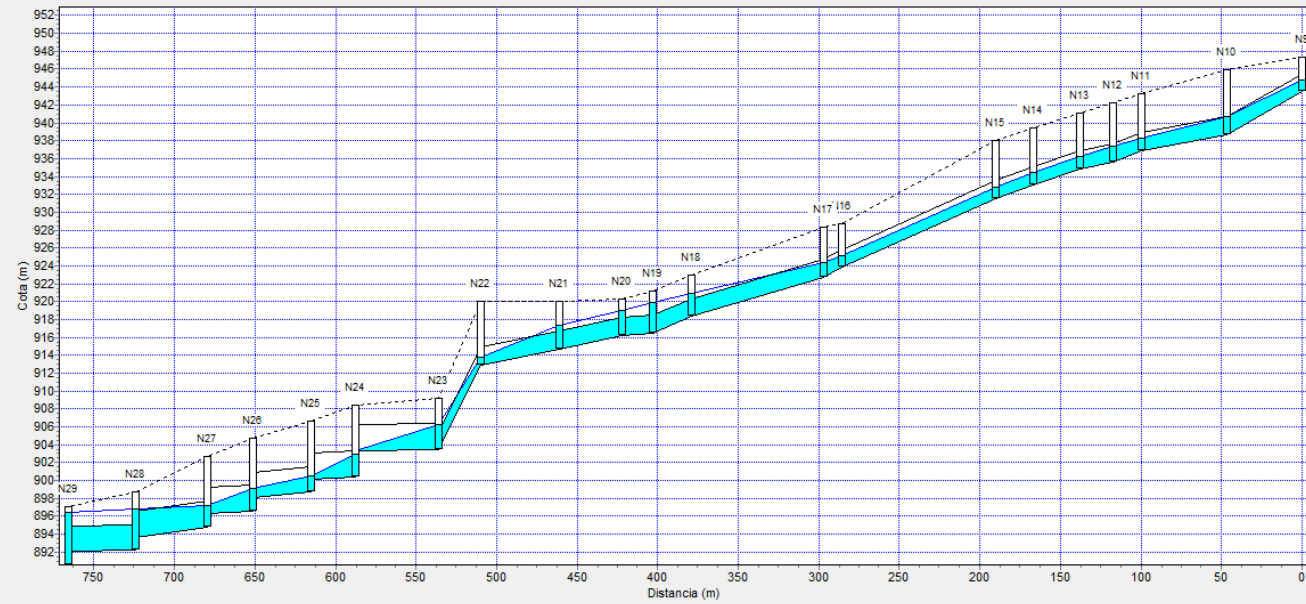
05/14/2013 01:31:00

Perfil de la Lámina de Agua: Nudo N29 - D1



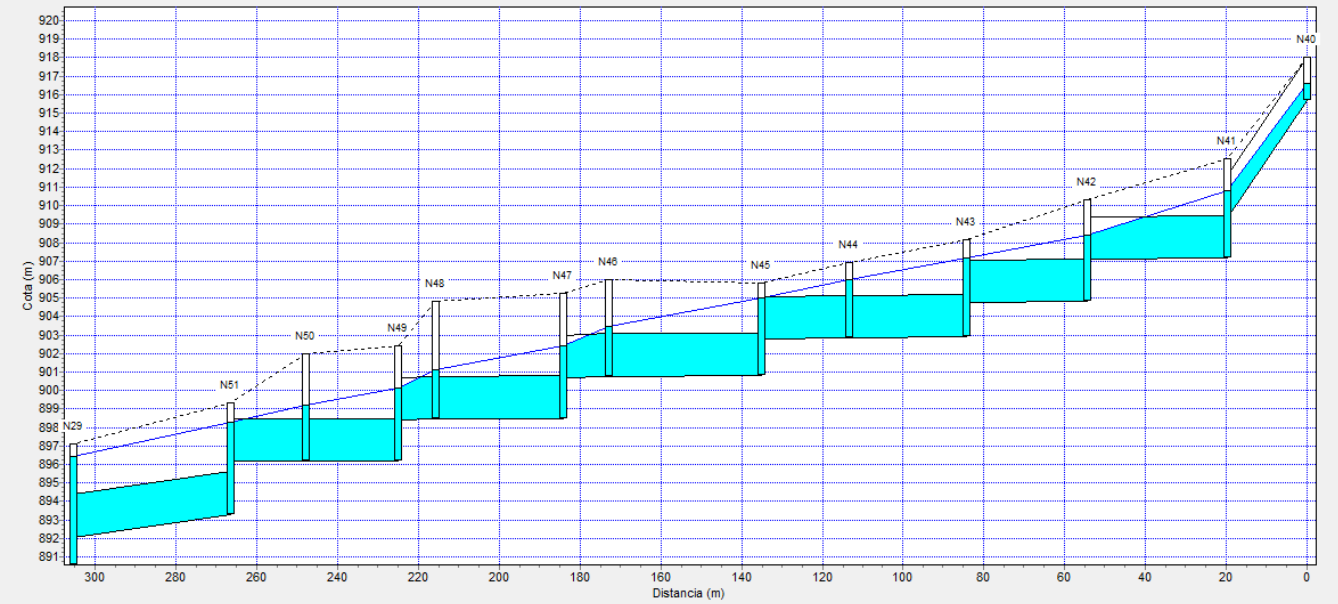
05/14/2013 01:12:00

Perfil de la Lámina de Agua: Nudo N9 - N29



05/14/2013 01:31:00

Perfil de la Lámina de Agua: Nudo N40 - N29

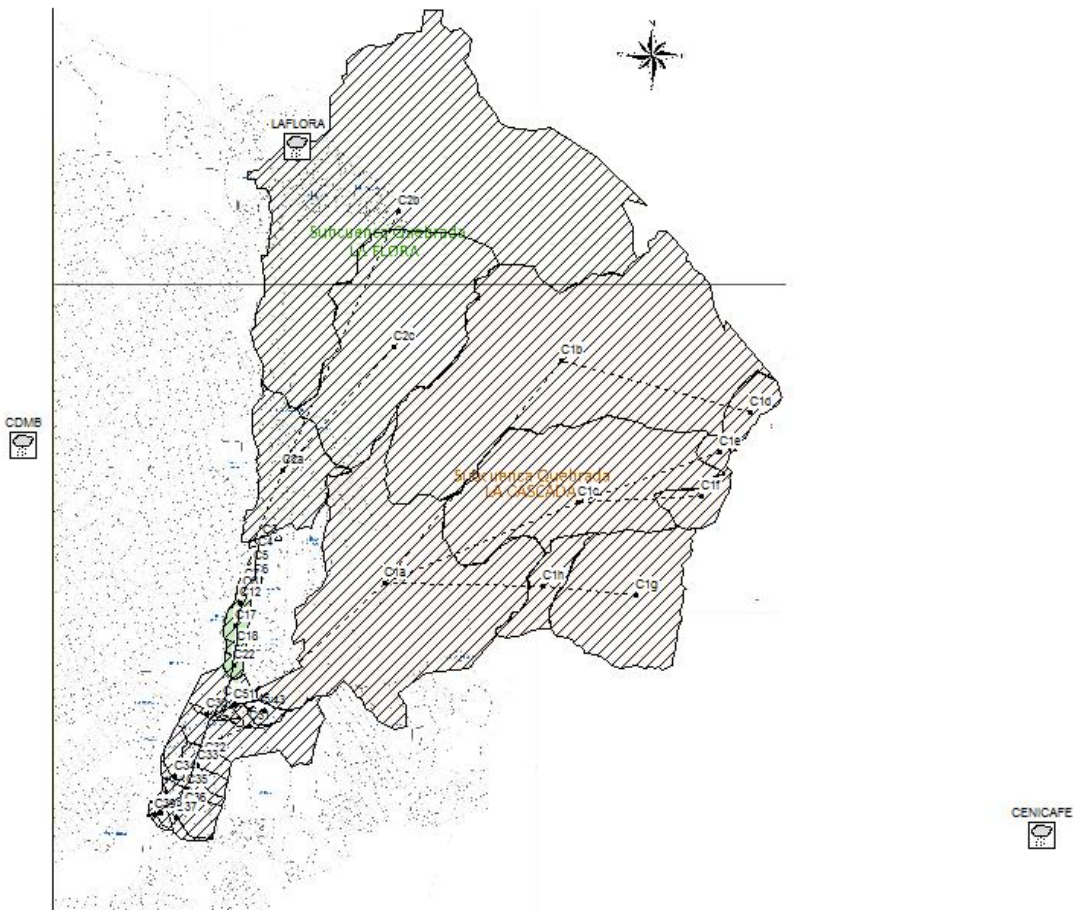


05/14/2013 01:31:00

ANEXO F

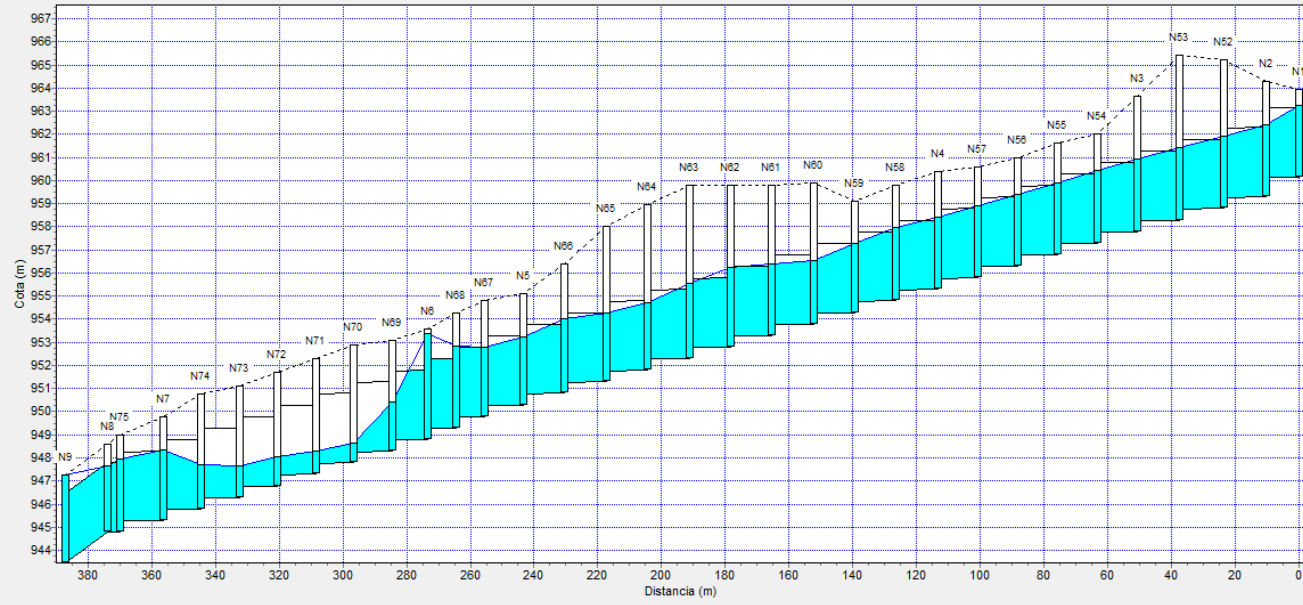
**PLANO GENERAL, PERFILES DEL MODELADO, CURVA PRECIPITACION VS
TIEMPO Y CURVA ESCORRENTIA VS TIEMPO EN EPA SWMM PARA EL
EVENTO DEL DIA 11 DE JUNIO DE 2012**

**PLANO GENERAL DEL MODELADO EN EPA SWMM PARA EL EVENTO DEL
DIA 11 DE JUNIO DE 2012**



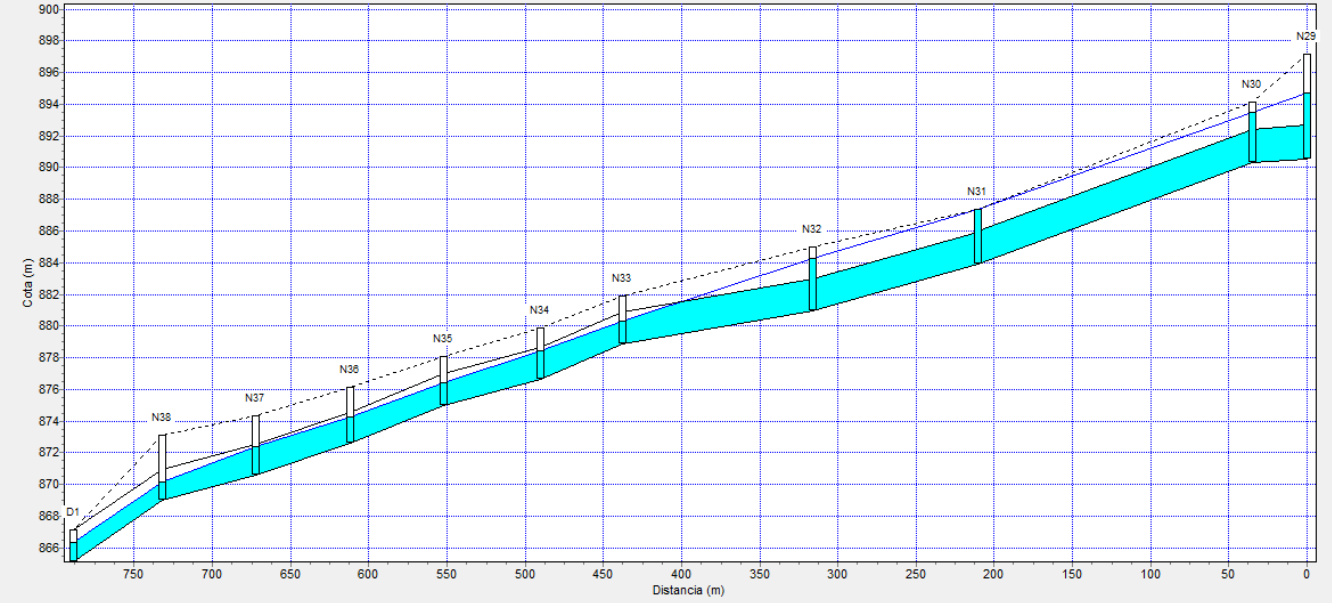
PERFILES DEL MODELADO EN EPA SWMM PARA EL EVENTO DEL DIA 11 DE JUNIO DE 2012

Perfil de la Lámina de Agua: Nudo N1 - N9



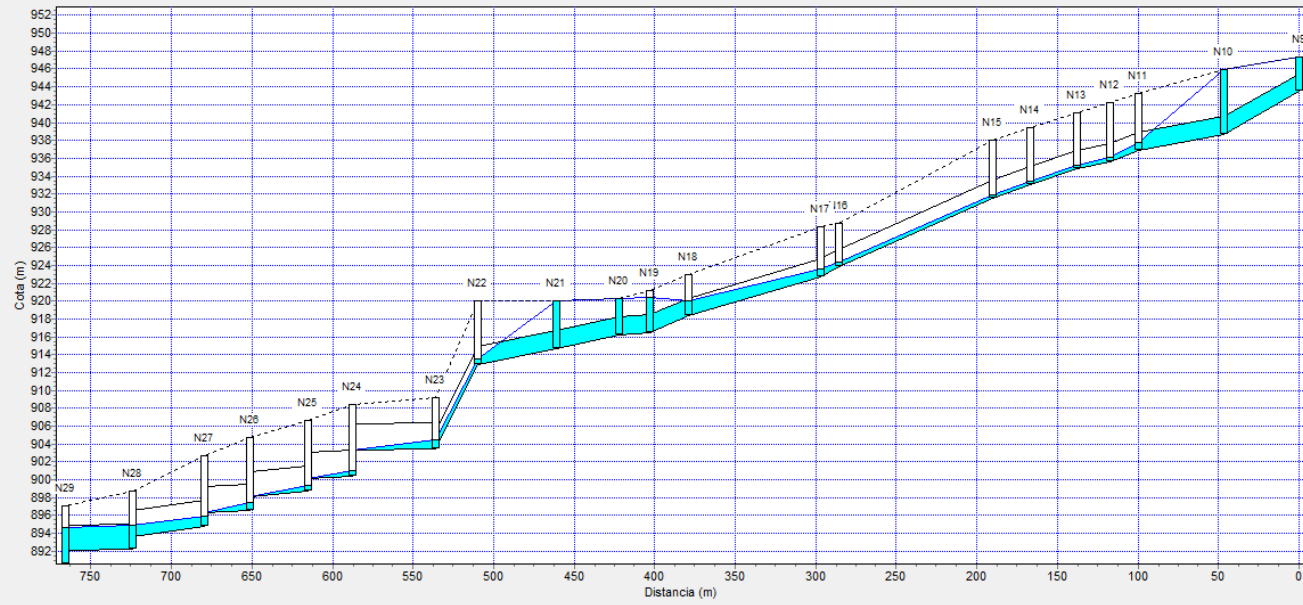
05/14/2013 18:05:00

Perfil de la Lámina de Agua: Nudo N29 - D1



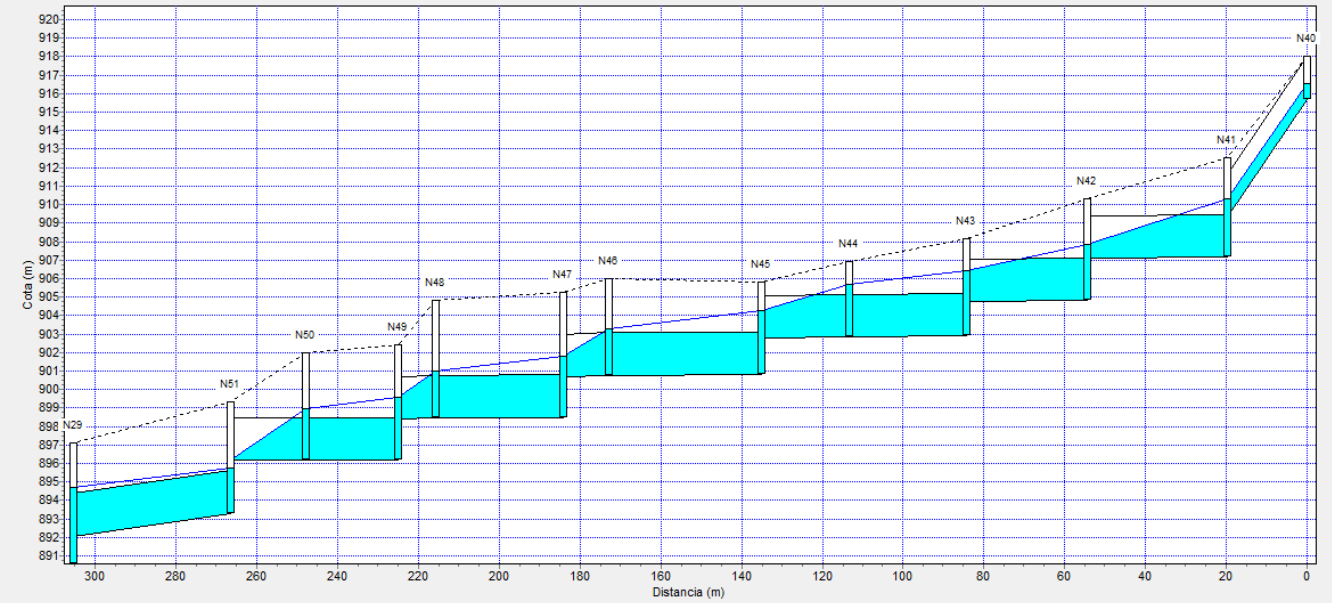
05/14/2013 18:05:00

Perfil de la Lámina de Agua: Nudo N9 - N29



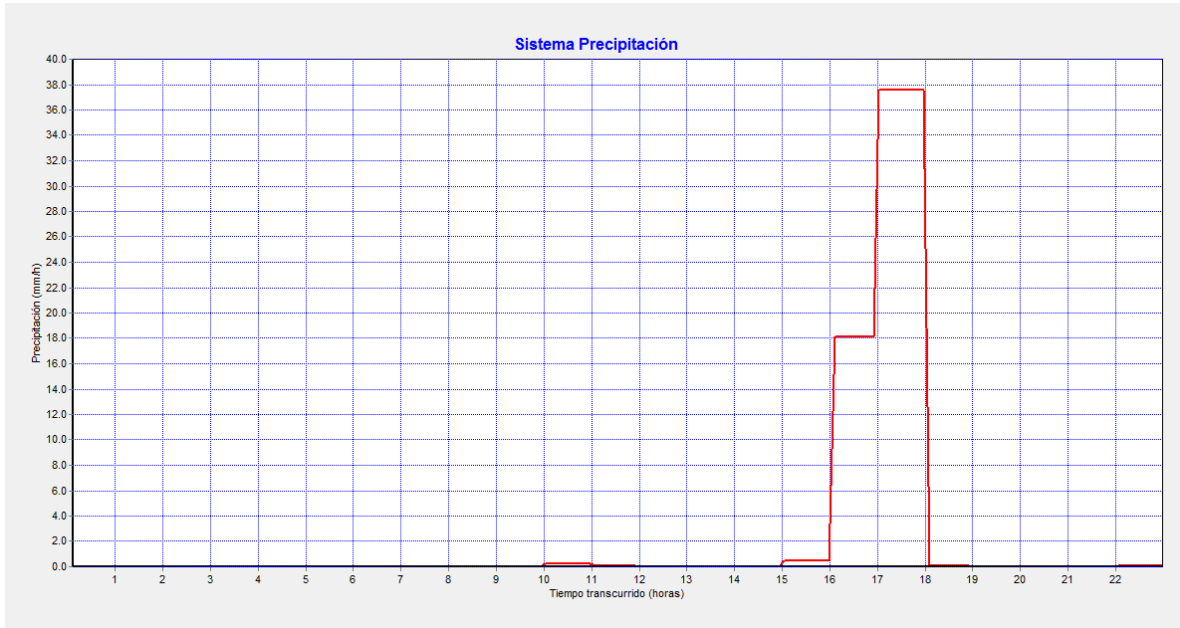
05/14/2013 18:05:00

Perfil de la Lámina de Agua: Nudo N40 - N29

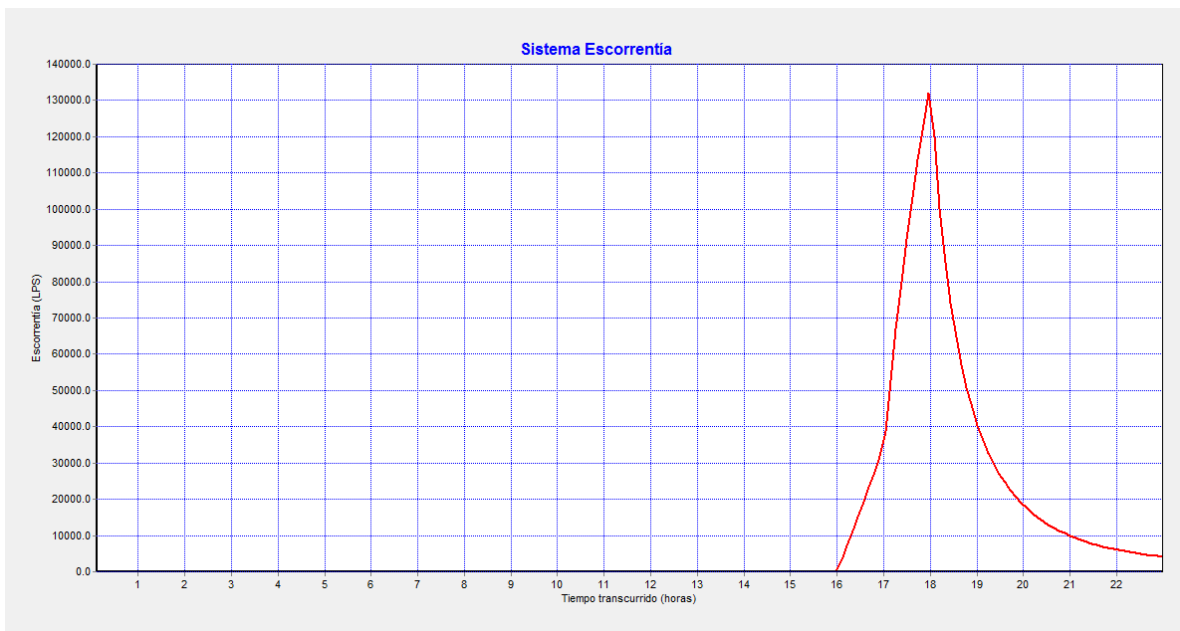


05/14/2013 18:05:00

PRECIPITACION VS TIEMPO EN EPA SWMM PARA EL EVENTO DEL DIA 11 DE JUNIO DE 2012



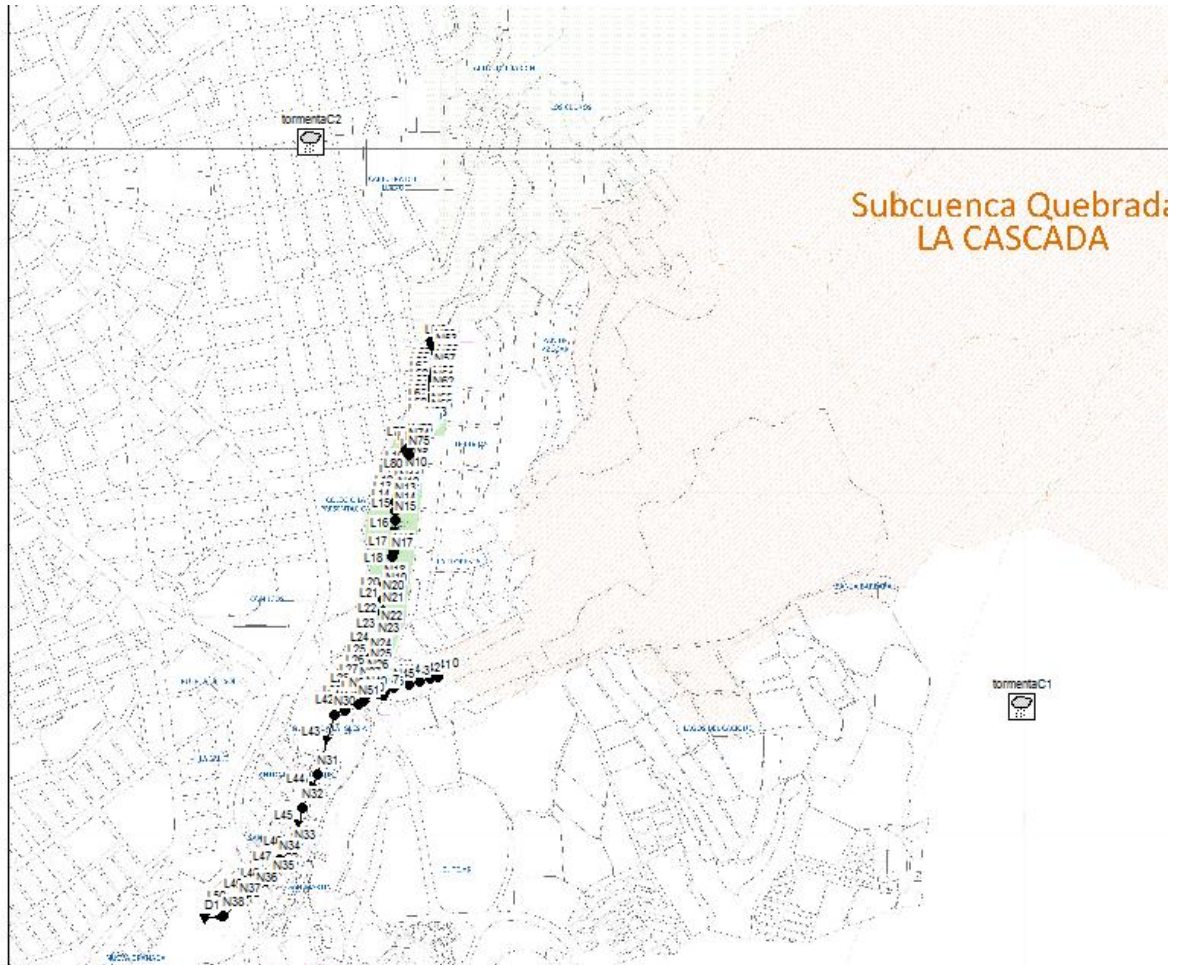
CURVA ESCORRENTIA VS TIEMPO EN EPA SWMM PARA EL EVENTO DEL DIA 11 DE JUNIO DE 2012



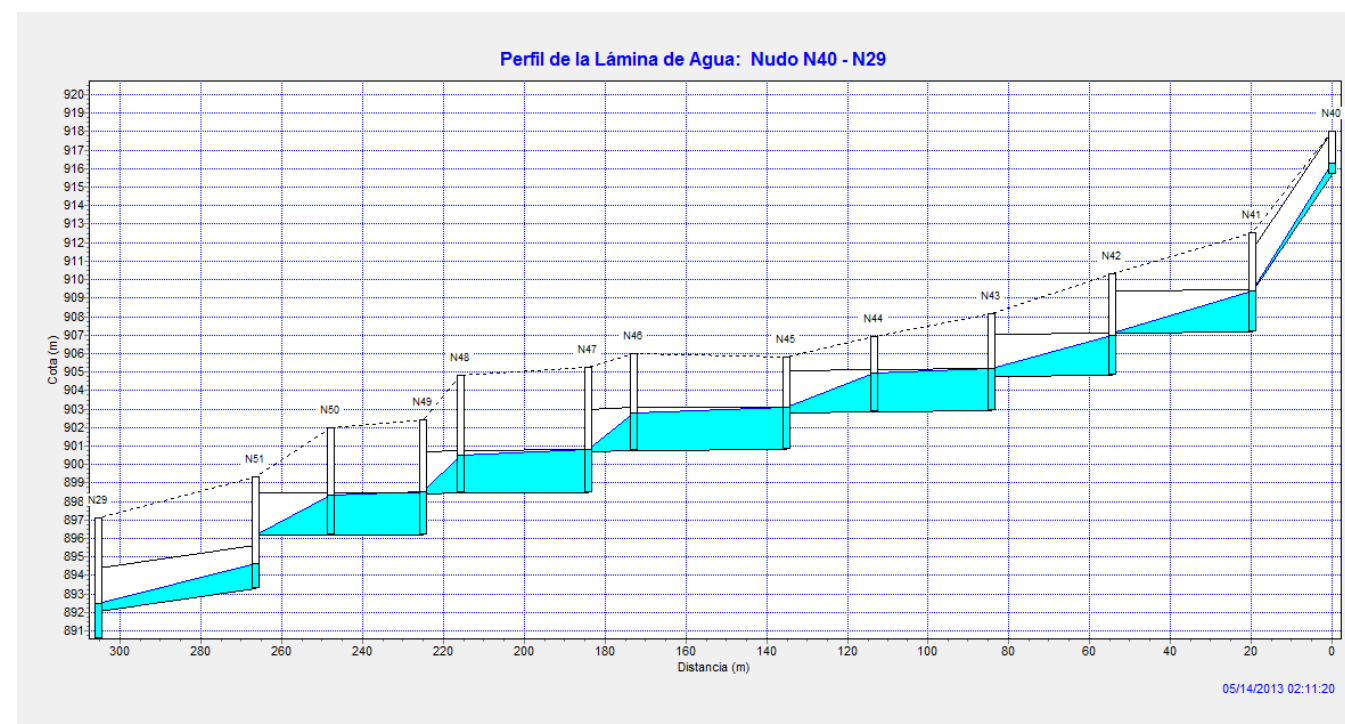
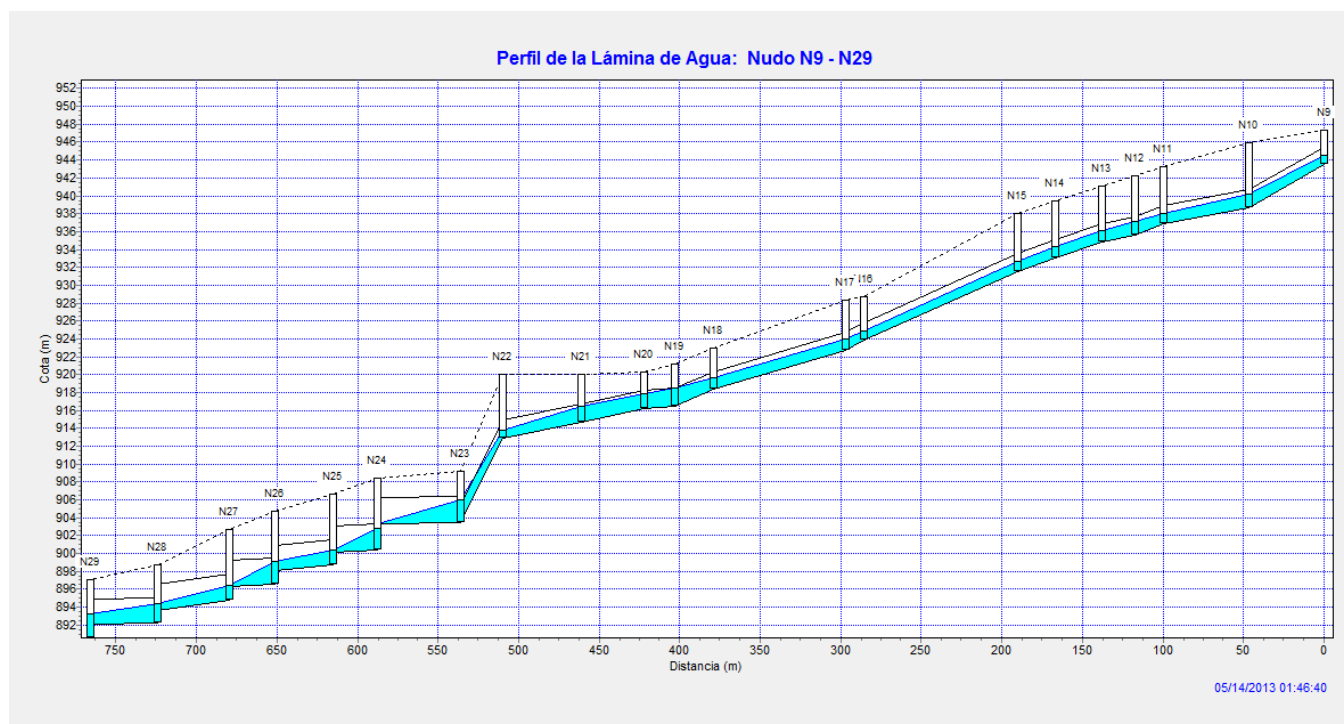
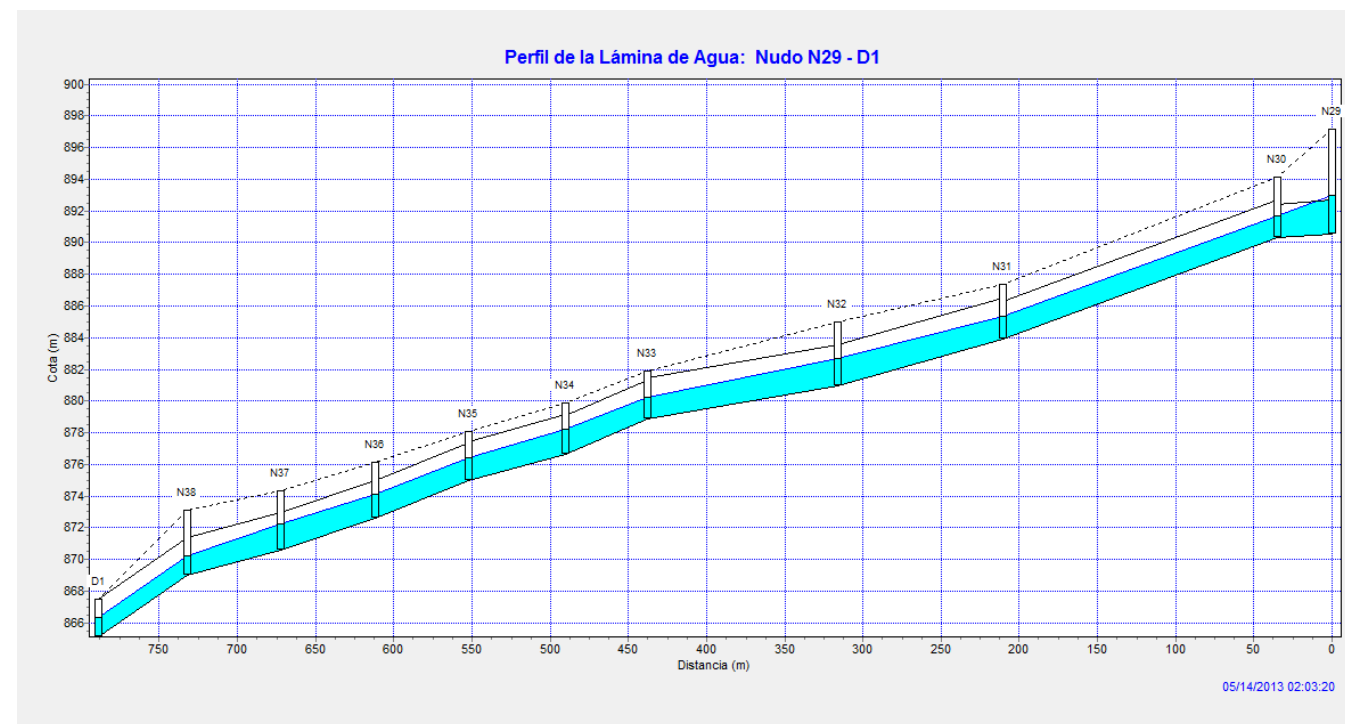
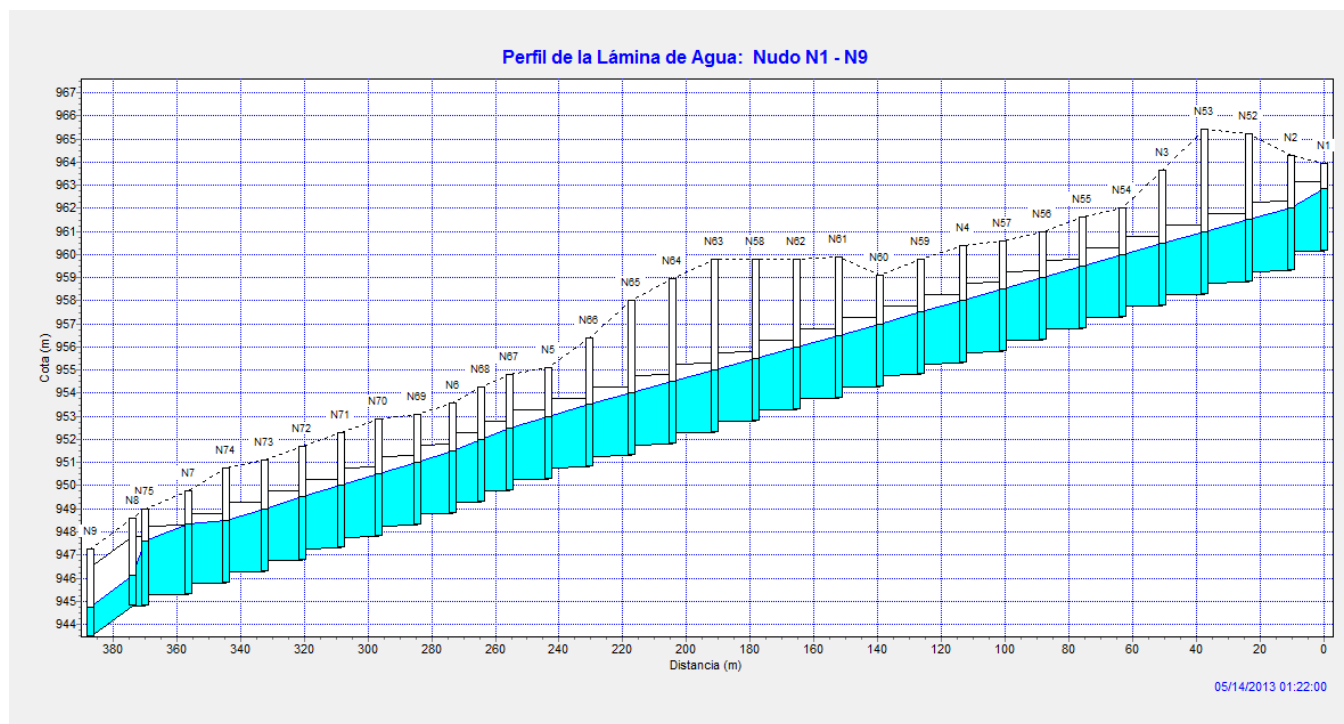
ANEXO G

**PLANO GENERAL, PERFILES DEL MODELADO EN EPA SWMM PARA EL
DIAMETRO DE TUBERIAS RECOMENDADAS.**

PLANO GENERAL DEL MODELADO EN EPA SWMM PARA EL DIAMETRO DE TUBERIAS RECOMENDADAS.



PERFILES DEL MODELADO EN EPA SWMM PARA EL DIAMETRO DE TUBERIAS RECOMENDADAS.



ANEXO H
MAPA ZONA AFECTADA

