

MEMORANDO INTERNO

2620001-2018-DIE-181

Bogotá D.C., 19 de abril de 2018

**PARA:** ROLANDO HIGUITA RODRIGUEZ  
Dirección Gestión Ambiental del Sistema Hidrico

**DE:** Dirección Ingeniería Especializada

**ASUNTO:** Modelación hidráulica del humedal Jaboque y planteamiento de medidas estructurales para restringir su extensión fuera del actual límite legal.  
En respuesta al Aviso SAP No. 400065759.

Cordial saludo Dr. Higuita,

En atención a la solicitud del asunto, mediante la cual se requiere realizar la modelación hidráulica del humedal Jaboque para la creciente correspondiente al periodo de retorno de cien (100) años, además de la evaluación de medidas estructurales para contener la extensión del humedal dentro de su límite legal, a continuación se presenta la descripción del proceso de modelación y los resultados obtenidos.

### 1. Introducción

Respondiendo a la solicitud realizada mediante el Aviso SAP No. 400064603, la Dirección de Ingeniería Especializada le remitió el pasado 30 de noviembre de 2017 los resultados de la modelación hidráulica del humedal Jaboque para la condición actual correspondientes al periodo de retorno de cien (100) años. En análisis posteriores se identificó que los resultados presentados superarían la extensión del límite legal del humedal en dos lugares e inundaría ligeramente una obra que proyecta construir la EAB en la margen izquierda del humedal. Atendiendo la solicitud de evaluar alternativas para mantener la extensión máxima dentro del límite legal del humedal y evitar la inundación en el lugar donde la EAB proyecta construir las obras, la Dirección de Ingeniería Especializada consideró una serie de intervenciones puntuales, cuyos resultados, junto con la descripción del proceso de modelación adelantado y resultados para la condición actual, se describen a continuación.

Formato: M4FD1101F01-01

19 ABR. 2018

YGN 15  
19 ABR. 2018

2:29 PM

Página 1 de 36

EAB - ESP

Av. Calle 24 # 37 - 15. Código Postal: 111321. Bogotá D.C. - Colombia.  
PBX: (571) 3447000. [www.acueducto.com.co](http://www.acueducto.com.co)



BOGOTÁ  
MEJOR  
PARA TODOS

### 1.1. Generalidades

El Humedal de Jaboque (Figura 1) se encuentra ubicado en la localidad de Engativá, entre la Autopista Medellín y el Aeropuerto El Dorado, tiene un área de 148 hectáreas, siendo el segundo humedal más grande de la ciudad de Bogotá. El humedal Jaboque recoge las cuencas de los canales Los Ángeles, El Carmelo y Marantá y algunos barrios comprendidos entre la avenida calle 80 y el humedal por el costado norte y por el costado sur el área comprendida entre el aeropuerto el Dorado y el humedal (Consortio Jaboque 2008, 2008).

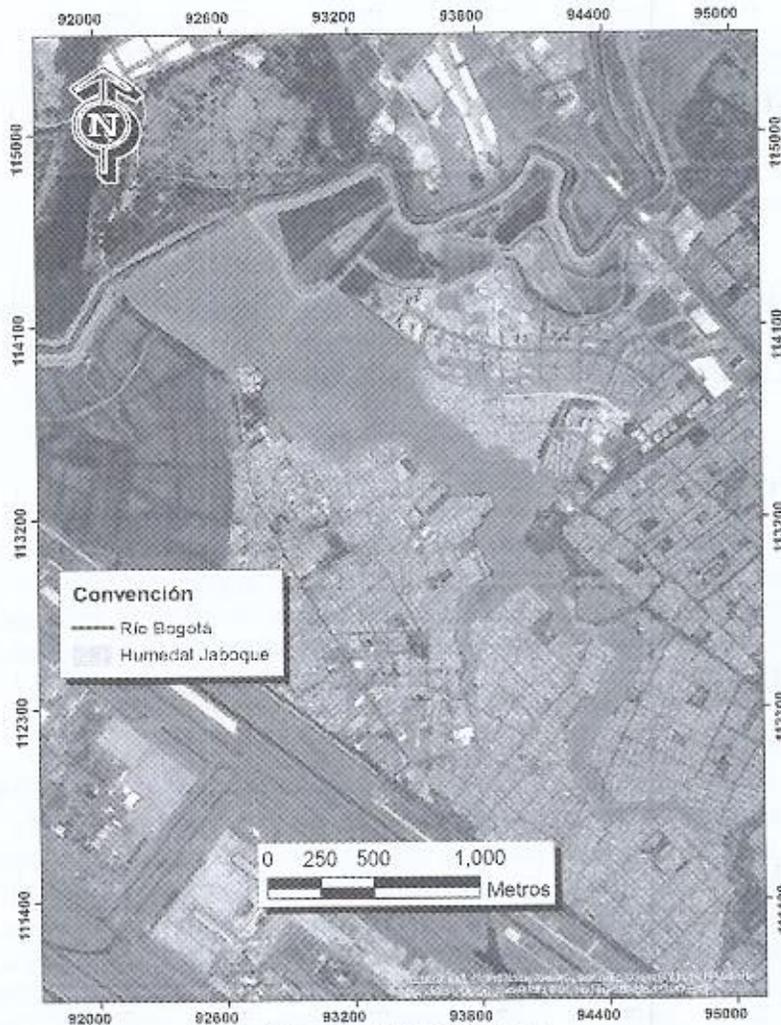


Figura 1. Humedal Jaboque.

Para efectos de este estudio, el humedal Jaboque fue dividido en tres tercios así, el primero tercio comprende desde la confluencia de los canales Los Ángeles y El Carmelo en la carrera 105D hasta la calle 70C con carrera 122A. El segundo tercio comprende desde el final del primer tercio hasta el colegio Colsubsidio Torquíguá (Cl. 64 #128-70), el último tercio comprende desde el final del segundo tercio hasta el río Bogotá (Figura 2).

Formato: M4FD1101F01-01

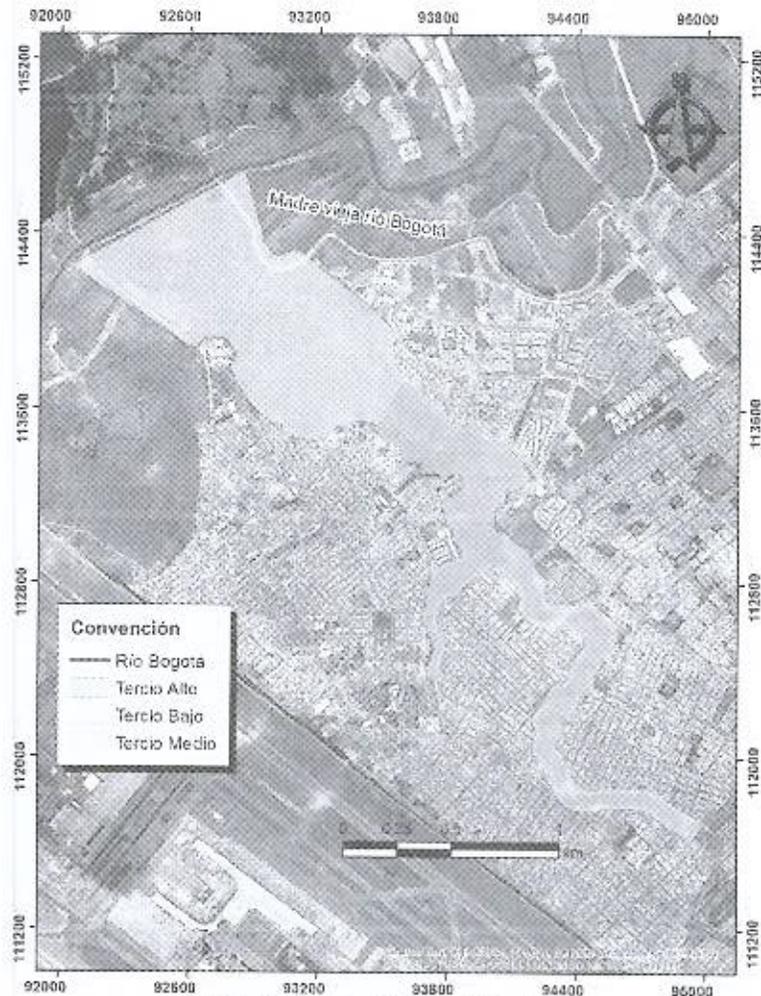


Figura 2. Tercios del humedal Jaboque

## 2. Modelación Hidrológica

### 2.1. Delimitación de Sub-cuencas aferentes al humedal

Para la delimitación de las sub-cuencas aferentes al humedal Jaboque, se utilizó la información existente de las redes de alcantarillado del sector, las cuales se encuentran registradas en el Sistema de Información Geográfico Unificado Empresarial (SIGUE) de la EAB. Se identificaron diez (10) sub-cuencas que drenan hacia el humedal Jaboque, las cuales tienen un área total de 1175.35 hectáreas, estas sub-cuencas se muestran en la Figura 3 y el área de cada una de ellas se muestra en la Tabla 1.

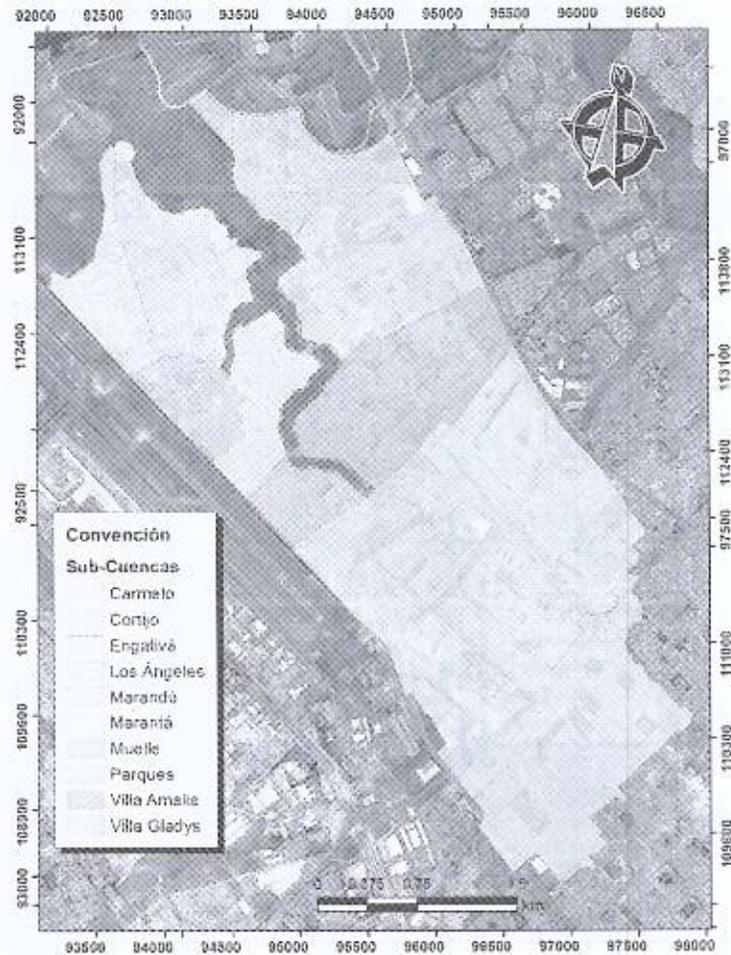


Figura 3. Sub-cuencas humedal Jaboque.

Tabla 1. Áreas de drenaje de las sub-cuencas aferentes al humedal Jaboque.

Sub-cuenca	Área (ha)
Marantá	44.19
Villa Gladys	38.42
Marandú	52.35
Muelle	31.30
Angeles	352.67
Cortijo	124.41
Parques	75.59
Villa Amalia	124.92
Carmelo	234.72
Engativá	96.81
<b>Total</b>	<b>1175.38</b>

## 2.2. Software de modelación hidrológica empleado

El modelo HEC –HMS es un modelo lluvia – escorrentía que calcula el hidrograma producido por una cuenca a partir de los datos físicos de la cuenca y la precipitación considerada, utilizando diferentes métodos para el cálculo de la infiltración y la transformación de la precipitación en escorrentía. A continuación se describen los métodos utilizados en la modelación realizada para la zona de estudio.

### 2.2.1. Método Soil Conservation Service (SCS) para el cálculo de las abstracciones y la precipitación efectiva.

El Servicio de Conservación de Suelos de Estados Unidos (Soil Conservation Service - SCS), desarrolló un método para el cálculo de las abstracciones iniciales de una tormenta, las cuales incluyen la intercepción, la detención superficial y la infiltración cuantificada a partir de un parámetro conocido como el número de curva de escorrentía.

Si se conoce el volumen total de lluvia precipitada en una tormenta ( $P$ ), y la distribución temporal de un aguacero (hietograma de lluvia, ver Figura 4) en éste una parte del volumen en el inicio de la lluvia, es retenido o interceptado en la vegetación o en depresiones topográficas, de forma que en un aguacero existe una pérdida de volumen inicial o abstracción inicial ( $I_a$ ). De igual forma, parte de dicho volumen se infiltra en el suelo ( $F_a$ ), es decir sólo una parte de la lluvia total es la que contribuye a la escorrentía directa (precipitación efectiva,  $P_e$ ).

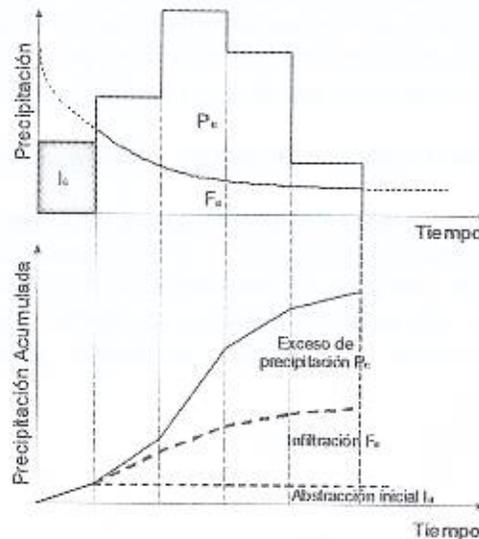


Figura 4. Método de abstracciones del SCS.

El método del SCS parte de la relación entre las siguientes cantidades:

$$\frac{F_a}{S} = \frac{P_e}{P - I_a}$$

Ecuaón 1

Página 5 de 36

Donde  $S$  es la retención potencial máxima, o el almacenamiento. Siguiendo con la deducción de la precipitación efectiva, por el principio de continuidad se tiene que,

$$P = P_e + I_a + F_a \quad \text{Ecuación 2}$$

Combinando las dos ecuaciones anteriores se obtiene,

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \quad \text{Ecuación 3}$$

Siendo esta última la ecuación con la que se calcula la precipitación de exceso, donde las abstracciones iniciales pueden ser expresadas en términos del almacenamiento, a partir de la expresión  $I_a = C_a S$ , donde  $C_a$  es un coeficiente que varía entre 0.15 y 0.20 para cuencas colombianas.

El almacenamiento en la cuenca se puede expresar en términos de un parámetro adimensional que tiene en cuenta las características geomorfológicas del suelo, su uso y cobertura vegetal. Este parámetro es conocido, de acuerdo con la metodología propuesta por el SCS, como el Número de Curva (CN).

El Número de Curva depende de la clasificación hidrológica del suelo, realizada a partir de la geomorfología de la zona de estudio, el uso del suelo, la condición del suelo, es decir, si es pobre, aceptable o buena, y la condición de humedad antecedente. Este parámetro varía entre 0 y 100, siendo un suelo con capacidad de almacenamiento infinito aquel que presenta un CN igual a 0, y un suelo sin ninguna retención o infiltración aquel que presenta un CN igual a 100.

### 2.2.2. Transformación lluvia escurrentia – Hidrograma unitario del SCS.

A partir de varias series de hidrogramas reales correspondientes a cuencas de diversos tamaños, ubicadas en distintos sitios de los Estados Unidos, el SCS desarrolló un hidrograma unitario sintético adimensional el cual es función del área, la pendiente de la cuenca y que es válido para una lluvia de una duración determinada. En este hidrograma, el caudal máximo se expresa en términos del área de drenaje ( $A$ ) en kilómetros cuadrados, y el tiempo al pico ( $T_p$ ), a partir de la siguiente ecuación:

$$Q_p = \frac{2.08A}{T_p} \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde

$$T_p = \frac{tr}{2} + tp \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde  $tr$  es el tiempo de duración de la lluvia y  $tp$  el tiempo de rezago o de retardo de la cuenca que se define como el tiempo comprendido entre el centroide del hidrograma de precipitación de exceso y el pico del caudal en el hidrograma. Cuando se conoce el tiempo de concentración ( $T_c$ ), es posible determinar el tiempo de retardo asumiendo que  $tr = 0.6T_c$ .

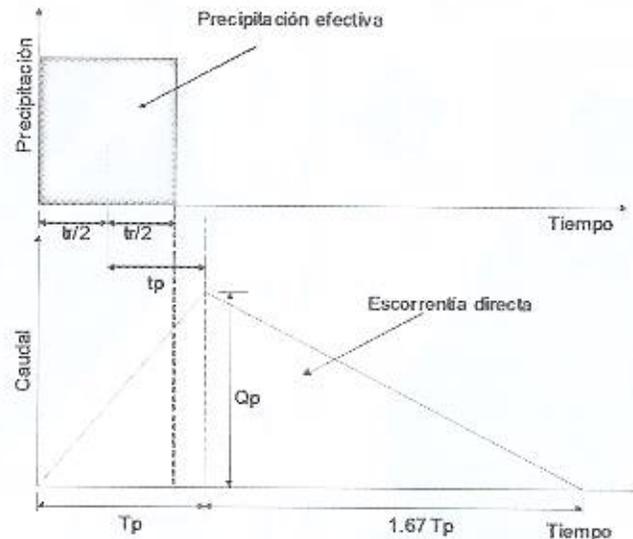


Figura 5. Esquema del Hidrograma unitario del SCS.

El tiempo de retardo o rezago ( $T_{lag}$ ) puede ser calculado a través de la siguiente ecuación:

$$T_{lag} = L^{0.8} \frac{\left(\frac{1000}{CN} - 9\right)^{0.7}}{1900\sqrt{Y}} \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde  $T_{lag}$  es el tiempo de retardo en horas, L es la longitud hidráulica en pies, CN es el número de Curva, y Y es la pendiente en porcentaje.

### 2.3. Propiedades de las sub-cuencas

Para realizar la modelación hidrológica es necesario introducir en el programa varias características y parámetros de las cuencas objeto de la modelación. En el modelo hidrológico se utilizaron los siguientes parámetros de entrada:

#### 2.3.1. Porcentaje de área impermeable y Número de Curva (CN)

Para la determinación del porcentaje de área impermeable se realizó una clasificación Ráster supervisada en el programa ArcGIS a partir de una imagen Satelital de la ciudad de Bogotá del año 2014, obtenida del Web Map Service de la Unidad Administrativa Especial de Catastro Digital (IDECA). En la Figura 6 se muestra el resultado de la clasificación realizada para la determinación del porcentaje de área impermeable de las sub-cuencas que drenan hacia el humedal Jaboque. Este análisis fue realizado de manera desagregada para cada sub-cuenca.

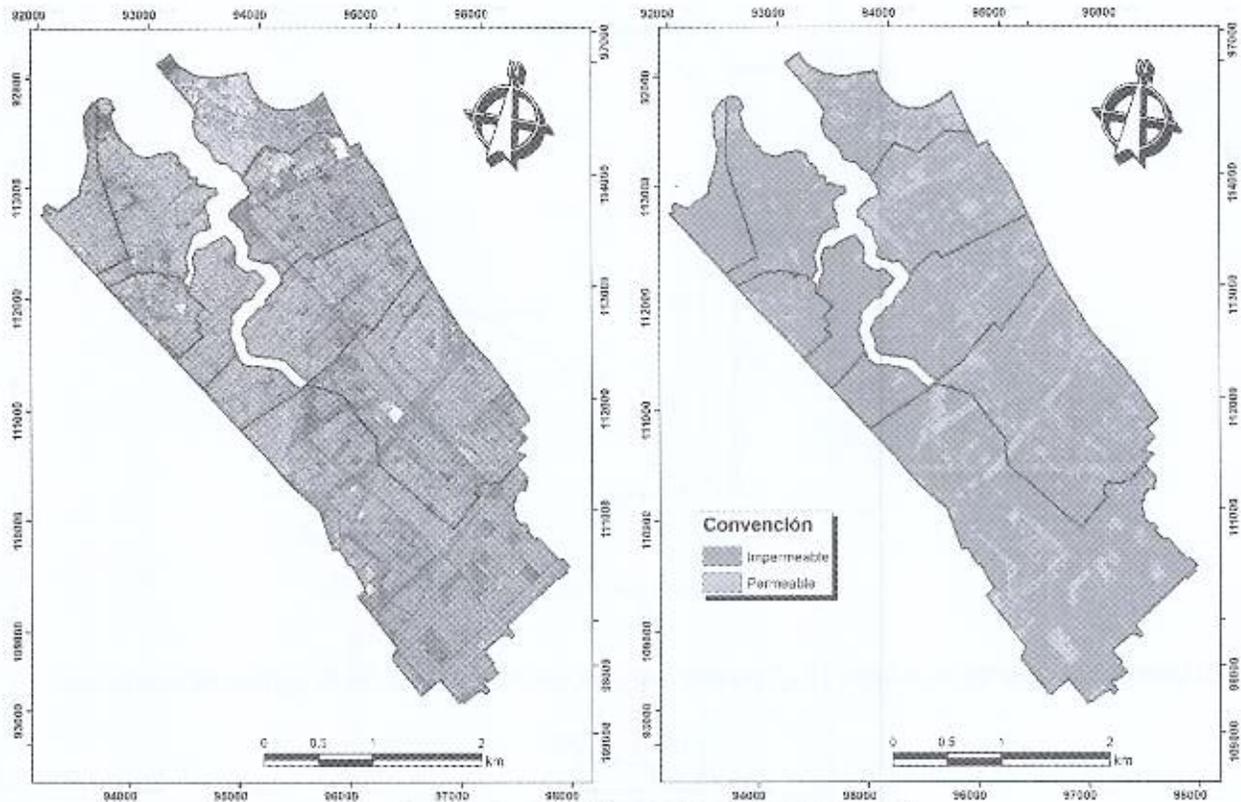


Figura 6. Determinación del porcentaje de área impermeable.

El número de curva (CN) es una medida del potencial de producción de escorrentía del suelo en cuestión. Suelos con alto potencial de generación de escorrentía tienen valores de CN más altos. La definición de este factor está en función del tipo de suelo, la impermeabilidad de la zona y del tipo de cobertura el terreno, y en principio no varían de tormenta a tormenta. Estas características determinan la fracción de lluvia que efectivamente se convierte en escorrentía. Este parámetro se calculó de manera ponderada según las áreas de cada uso. Se adoptó un CN de 74 para las superficies permeables, mientras que para las superficies impermeables se adoptó un CN de 98 que corresponde a parqueaderos, techos y zonas pavimentadas, en ambos casos se supuso un suelo del grupo hidrológico C, que corresponde a suelos que presentan tasas bajas de infiltración. Los valores adoptados se encuentran de acuerdo con lo establecido en la Tabla 4-3 de la norma de diseño de alcantarillados NS-085.

Los porcentajes estimados de área permeable e impermeable así como el parámetro Número de Curva para las diez (10) sub-cuencas generadas que aportan al Humedal Jaboque se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Porcentaje de área impermeable sub-cuencas de drenaje.

Sub-cuenca	% Permeable	% Impermeable	CN Permeable	CN Impermeable	CN Ponderado
Marantá	12.03%	87.97%	74	98	95.1
Villa Gladys	12.73%	87.27%	74	98	94.9
Marandú	1.95%	98.05%	74	98	97.5
Muelle	4.80%	95.20%	74	98	96.8
Ángeles	15.21%	84.79%	74	98	94.4
Cortijo	30.17%	69.83%	74	98	90.8
Parques	30.17%	69.83%	74	98	90.8
Villa Amalia	15.70%	84.30%	74	98	94.2
Carmelo	18.91%	81.09%	74	98	93.5
Engativá	9.99%	90.01%	74	98	95.6

### 2.3.2. Tiempo de concentración y tiempo de rezago

El tiempo de concentración es el tiempo que le toma a una gota de escorrentía pluvial recorrer desde el punto hidráulicamente más lejano de la cuenca hasta el punto de análisis, definido como el tiempo de entrada, el cual debe ser de mínimo 8 minutos, más el tiempo de tránsito, así mismo, el tiempo de concentración inicial debe ser como mínimo de 15 minutos.

$$t_{\text{concentración}}(\text{min}) = t_{\text{entrada}} + t_{\text{tránsito}} \quad \text{Ecuación 7}$$

El tiempo de rezago corresponde al 60% del tiempo de concentración (Ecuación 8).

$$t_{\text{rezago}}(\text{min}) = 0.6 t_c \quad \text{Ecuación 8}$$

El tiempo de entrada se estimó utilizando la Ecuación 9 con las relaciones de velocidad definidas en el manual del Soil Conservation Service dependiendo del tipo de superficie, las cuales se muestran en la Tabla 2.

$$t = \frac{1}{60} \sum \frac{L}{V} \quad \text{Ecuación 9}$$

Dónde:

- $t$  = Tiempo de viaje (minutos).
- $L$  = Longitud de la trayectoria del flujo (m).
- $V$  = Promedio de velocidad del flujo de agua (m/s).

Tabla 2. Fórmulas para el cálculo de la velocidad de entrada. (NS-085).

Flujo	Velocidad de flujo (m/s)	
En áreas pavimentadas	$V = 6.1960 S^{0.5}$	Ecuación 10
En áreas no pavimentadas	$V = 4.9178 S^{0.5}$	Ecuación 11

\* En la Ecuación 10 y en la Ecuación 11 la pendiente está dada en m/m.

El tiempo de tránsito se estimó utilizando la Ecuación 9 a partir de la velocidad en los conductos, considerando una profundidad del agua igual al 80% de la profundidad máxima en el caso de conductos cerrados y en condiciones de máxima capacidad excluyendo las consideraciones de borde libre para el caso de canales o cauces naturales. La velocidad de flujo se calculó utilizando la ecuación de Manning (Ecuación 12).

$$v = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}} \quad \text{Ecuación 12}$$

Los tiempos de concentración y de rezago para las sub-cuencas del humedal Jaboque se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Tiempo de concentración y tiempo de rezago de las sub-cuencas.

Sub-cuenca	Tiempo de entrada (min)		Tiempo de tránsito (min)	Tiempo de concentración (min)		Tiempo de rezago (min)
	Calculado	Adoptado		Calculado	Adoptado	
Los Ángeles	79.07	79.07	31.23	110.30	110.30	66.18
El Carmelo	6.49	8.00	41.205	49.205	49.205	29.52
Villa Amalia	13.62	13.62	17.31	30.94	30.94	18.56
Muelle	1.28	8.00	4.05	12.05	15.00	9.00
Marandú	24.15	24.15	8.31	32.46	32.46	19.47
Villa Gladys	6.55	8.00	5.13	13.13	15.00	9.00
Engativá	16.78	16.78	7.24	24.02	24.02	14.41
Marantá	17.38	17.38	107.36	124.74	124.74	74.84
Cortijo	30.80	30.80	12.88	43.68	43.68	26.20
Parques	27.36	27.36	9.36	36.72	36.72	22.03

#### 2.4. Tormentas de diseño

Una vez definida el área de drenaje para cada subcuenca, se determinó la curva Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) en el centroide de cada una. Mediante las curvas Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF) es posible estimar la intensidad de tormentas de distintas duraciones y para diferentes periodos de retorno. La curva IDF se encuentra descrita por la siguiente expresión.

$$\text{Intensidad} = C_1 (\text{Duración}(\text{minutos}) + X_0)^{C_2} \quad \text{Ecuación 13}$$

En la Ecuación 13, la duración corresponde a 360 minutos, que es la duración típica de la tormenta recomendada en la norma NS-085. Para el humedal Jaboque, se adoptaron curvas Intensidad-duración-frecuencia para los centroides definidos para cada una de las subcuencas:

Tabla 4. Curvas IDF Sub-cuencas humedal Jaboque.

Sub-cuenca	Coordenadas		Coeficientes IDF Tr 100 años		
	Este	Norte	C <sub>1</sub>	X <sub>0</sub>	C <sub>2</sub>
Los Angeles	96170.06	110410.41	9710.33	30.9	-1.12909
El Carmelo	96119.15	111712.34	10457.03	32.3	-1.14211
Villa Amalia	95079.11	112479.52	9704.97	31.3	-1.13303
Muelle	94465.17	111527.69	9326.93	30.4	-1.13006
Marandú	94043.12	112215.42	9573.13	31	-1.13532
Villa Gladys	93551.68	112123.09	9554.2	30.8	-1.13823
Engativá	93269.60	113034.44	9587.87	31.1	-1.1368
Marantá	92752.15	112868.90	9625.73	31.2	-1.13889
Cortijo	94450.91	113572.18	9921.29	31.6	-1.13919
Parques	94450.91	113572.18	9921.29	31.6	-1.13919

Con el valor de la intensidad extraído de las curvas IDF para el periodo de retorno de 100 años, se calcula el volumen de lluvia total a distribuir como:

$$P(\text{mm}) = I \left( \frac{\text{mm}}{\text{h}} \right) * \text{Duración (6 horas)} \quad \text{Ecuación 14}$$

La distribución del volumen de lluvia total se realizó a partir de la distribución temporal mostrada en la Figura 7, la cual es exigida en la norma de diseño de alcantarillados (NS-085) de la EAB. Esta distribución temporal fue obtenida del análisis de eventos históricos de precipitación registrados en la ciudad de Bogotá.

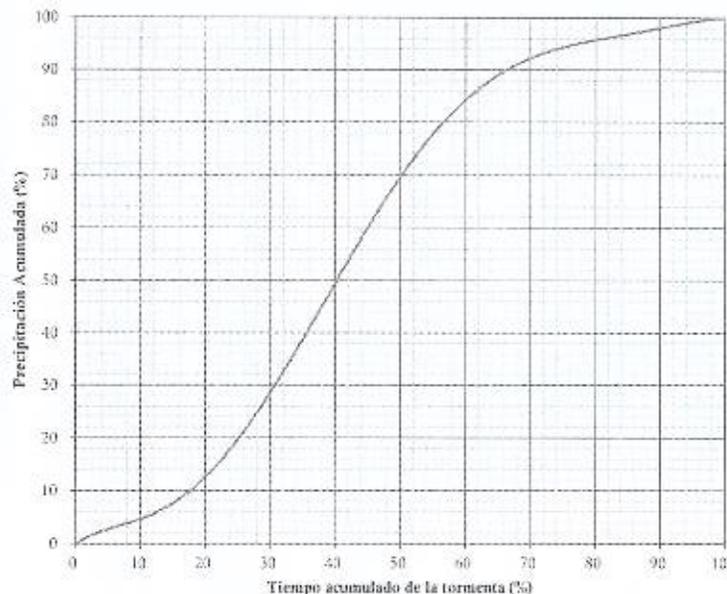


Figura 7. Distribución temporal tormentas. Duración 6 horas.

A continuación se presentan los valores de la distribución temporal de las tormentas de diseño correspondientes al período de retorno de cien años para cada una de las sub-cuencas aferentes al humedal Jaboque y que fueron utilizadas en la modelación hidrológica.

Tabla 5. Distribución Temporal de la tormenta de diseño sub-cuencas Marantá y Villa Gladys.

Sub-cuenca		Marantá			Villa Gladys		
Tiempo Acumulado		Precipitación Acumulada		Precipitación	Precipitación Acumulada		Precipitación
Minutos	(%)	(%)	(mm)	(mm)	(%)	(mm)	(mm)
0	0%	0%	0	0	0%	0	0
15	4.20%	1.90%	1.22	1.22	1.90%	1.22	1.22
30	8.30%	3.90%	2.51	1.29	3.90%	2.51	1.29
45	12.50%	6.00%	3.87	1.35	6.00%	3.86	1.35
60	16.70%	9.00%	5.8	1.93	9.00%	5.79	1.93
75	20.80%	13.50%	8.7	2.9	13.50%	8.68	2.89
90	25.00%	19.50%	12.56	3.87	19.50%	12.54	3.86
105	29.20%	26.50%	17.08	4.51	26.50%	17.04	4.5
120	33.30%	34.50%	22.23	5.15	34.50%	22.18	5.14
135	37.50%	44.00%	28.35	6.12	44.00%	28.29	6.11
150	41.70%	54.00%	34.8	6.44	54.00%	34.71	6.43
165	45.80%	62.50%	40.27	5.48	62.50%	40.18	5.46
180	50.00%	69.50%	44.78	4.51	69.50%	44.68	4.5
195	54.20%	76.00%	48.97	4.19	76.00%	48.86	4.18
210	58.30%	82.00%	52.84	3.87	82.00%	52.71	3.86
225	62.50%	87.00%	56.06	3.22	87.00%	55.93	3.21
240	66.70%	90.50%	58.31	2.26	90.50%	58.18	2.25
255	70.80%	93.00%	59.93	1.61	93.00%	59.78	1.61
270	75.00%	94.50%	60.89	0.97	94.50%	60.75	0.96
285	79.20%	95.50%	61.54	0.64	95.50%	61.39	0.64
300	83.30%	96.50%	62.18	0.64	96.50%	62.03	0.64
315	87.50%	97.50%	62.82	0.64	97.50%	62.68	0.64
330	91.70%	98.50%	63.47	0.64	98.50%	63.32	0.64
345	95.80%	99.50%	64.11	0.64	99.50%	63.96	0.64
360	100%	100%	64.44	0.32	100%	64.28	0.32

Tabla 6. Distribución Temporal de la tormenta de diseño sub-cuencas Marandú y Muelle.

Sub-cuenca		Marandú			Muelle		
Tiempo Acumulado		Precipitación Acumulada		Precipitación	Precipitación Acumulada		Precipitación
Minutos	(%)	(%)	(mm)	(mm)	(%)	(mm)	(mm)
0	0%	0%	0	0	0%	0	0
15	4.20%	1.90%	1.24	1.24	1.90%	1.25	1.25
30	8.30%	3.90%	2.55	1.31	3.90%	2.57	1.32
45	12.50%	6.00%	3.93	1.38	6.00%	3.96	1.39
60	16.70%	9.00%	5.9	1.97	9.00%	5.94	1.98
75	20.80%	13.50%	8.84	2.95	13.50%	8.91	2.97
90	25.00%	19.50%	12.77	3.93	19.50%	12.86	3.96
105	29.20%	26.50%	17.36	4.59	26.50%	17.48	4.62
120	33.30%	34.50%	22.6	5.24	34.50%	22.76	5.28
135	37.50%	44.00%	28.82	6.22	44.00%	29.03	6.27
150	41.70%	54.00%	35.37	6.55	54.00%	35.62	6.6
165	45.80%	62.50%	40.94	5.57	62.50%	41.23	5.61
180	50.00%	69.50%	45.52	4.59	69.50%	45.85	4.62
195	54.20%	76.00%	49.78	4.26	76.00%	50.14	4.29
210	58.30%	82.00%	53.71	3.93	82.00%	54.09	3.96
225	62.50%	87.00%	56.99	3.28	87.00%	57.39	3.3
240	66.70%	90.50%	59.28	2.29	90.50%	59.7	2.31
255	70.80%	93.00%	60.92	1.64	93.00%	61.35	1.65
270	75.00%	94.50%	61.9	0.98	94.50%	62.34	0.99
285	79.20%	95.50%	62.55	0.66	95.50%	63	0.66
300	83.30%	96.50%	63.21	0.66	96.50%	63.66	0.66
315	87.50%	97.50%	63.86	0.66	97.50%	64.32	0.66
330	91.70%	98.50%	64.52	0.66	98.50%	64.98	0.66
345	95.80%	99.50%	65.17	0.66	99.50%	65.64	0.66
360	100%	100%	65.5	0.33	100%	65.97	0.33



Tabla 7. Distribución Temporal de la tormenta de diseño sub-cuencas Los Ángeles y Cortijo.

Sub-cuenca		Los Ángeles			Cortijo		
Tiempo Acumulado		Precipitación Acumulada		Precipitación	Precipitación Acumulada		Precipitación
Minutos	(%)	(%)	(mm)	(mm)	(%)	(mm)	(mm)
0	0%	0%	0	0	0%	0	0
15	4.20%	1.90%	1.31	1.31	1.90%	1.26	1.26
30	8.30%	3.90%	2.69	1.38	3.90%	2.58	1.32
45	12.50%	6.00%	4.14	1.45	6.00%	3.97	1.39
60	16.70%	9.00%	6.21	2.07	9.00%	5.96	1.99
75	20.80%	13.50%	9.31	3.1	13.50%	8.94	2.98
90	25.00%	19.50%	13.45	4.14	19.50%	12.91	3.97
105	29.20%	26.50%	18.28	4.83	26.50%	17.55	4.64
120	33.30%	34.50%	23.8	5.52	34.50%	22.85	5.3
135	37.50%	44.00%	30.35	6.55	44.00%	29.14	6.29
150	41.70%	54.00%	37.25	6.9	54.00%	35.76	6.62
165	45.80%	62.50%	43.11	5.86	62.50%	41.39	5.63
180	50.00%	69.50%	47.94	4.83	69.50%	46.02	4.64
195	54.20%	76.00%	52.42	4.48	76.00%	50.33	4.3
210	58.30%	82.00%	56.56	4.14	82.00%	54.3	3.97
225	62.50%	87.00%	60.01	3.45	87.00%	57.61	3.31
240	66.70%	90.50%	62.42	2.41	90.50%	59.93	2.32
255	70.80%	93.00%	64.15	1.72	93.00%	61.58	1.66
270	75.00%	94.50%	65.18	1.03	94.50%	62.58	0.99
285	79.20%	95.50%	65.87	0.69	95.50%	63.24	0.66
300	83.30%	96.50%	66.56	0.69	96.50%	63.9	0.66
315	87.50%	97.50%	67.25	0.69	97.50%	64.56	0.66
330	91.70%	98.50%	67.94	0.69	98.50%	65.23	0.66
345	95.80%	99.50%	68.63	0.69	99.50%	65.89	0.66
360	100%	100%	68.98	0.34	100%	66.22	0.33

Tabla 8. Distribución Temporal de la tormenta de diseño sub-cuencas Parques y Villa Amalia

Sub-cuenca		Parques			Villa Amalia		
Tiempo Acumulado		Precipitación Acumulada		Precipitación	Precipitación Acumulada		Precipitación
Minutos	(%)	(%)	(mm)	(mm)	(%)	(mm)	(mm)
0	0%	0%	0	0	0%	0	0
15	4.20%	1.90%	1.26	1.26	1.90%	1.28	1.28
30	8.30%	3.90%	2.58	1.32	3.90%	2.62	1.35
45	12.50%	6.00%	3.97	1.39	6.00%	4.04	1.41
60	16.70%	9.00%	5.96	1.99	9.00%	6.05	2.02
75	20.80%	13.50%	8.94	2.98	13.50%	9.08	3.03
90	25.00%	19.50%	12.91	3.97	19.50%	13.12	4.04
105	29.20%	26.50%	17.55	4.64	26.50%	17.82	4.71
120	33.30%	34.50%	22.85	5.3	34.50%	23.2	5.38
135	37.50%	44.00%	29.14	6.29	44.00%	29.59	6.39
150	41.70%	54.00%	35.76	6.62	54.00%	36.32	6.73
165	45.80%	62.50%	41.39	5.63	62.50%	42.04	5.72
180	50.00%	69.50%	46.02	4.64	69.50%	46.75	4.71
195	54.20%	76.00%	50.33	4.3	76.00%	51.12	4.37
210	58.30%	82.00%	54.3	3.97	82.00%	55.15	4.04
225	62.50%	87.00%	57.61	3.31	87.00%	58.52	3.36
240	66.70%	90.50%	59.93	2.32	90.50%	60.87	2.35
255	70.80%	93.00%	61.58	1.66	93.00%	62.55	1.68
270	75.00%	94.50%	62.58	0.99	94.50%	63.56	1.01
285	79.20%	95.50%	63.24	0.66	95.50%	64.23	0.67
300	83.30%	96.50%	63.9	0.66	96.50%	64.91	0.67
315	87.50%	97.50%	64.56	0.66	97.50%	65.58	0.67
330	91.70%	98.50%	65.23	0.66	98.50%	66.25	0.67
345	95.80%	99.50%	65.89	0.66	99.50%	66.92	0.67
360	100%	100%	66.22	0.33	100%	67.26	0.34

Tabla 9. Distribución Temporal de la tormenta de diseño sub-cuencas Carmelo y Engativá.

Sub-cuenca		Carmelo			Engativá		
Tiempo Acumulado		Precipitación Acumulada		Precipitación	Precipitación Acumulada		Precipitación
Minutos	(%)	(%)	(mm)	(mm)	(%)	(mm)	(mm)
0	0%	0%	0	0	0%	0	0
15	4.20%	1.90%	1.3	1.3	1.90%	1.24	1.24
30	8.30%	3.90%	2.67	1.37	3.90%	2.54	1.3
45	12.50%	6.00%	4.11	1.44	6.00%	3.9	1.37
60	16.70%	9.00%	6.16	2.05	9.00%	5.85	1.95
75	20.80%	13.50%	9.24	3.08	13.50%	8.78	2.93
90	25.00%	19.50%	13.35	4.11	19.50%	12.68	3.9
105	29.20%	26.50%	18.14	4.79	26.50%	17.23	4.55
120	33.30%	34.50%	23.61	5.48	34.50%	22.43	5.2
135	37.50%	44.00%	30.12	6.5	44.00%	28.6	6.18
150	41.70%	54.00%	36.96	6.84	54.00%	35.1	6.5
165	45.80%	62.50%	42.78	5.82	62.50%	40.63	5.53
180	50.00%	69.50%	47.57	4.79	69.50%	45.18	4.55
195	54.20%	76.00%	52.02	4.45	76.00%	49.41	4.23
210	58.30%	82.00%	56.13	4.11	82.00%	53.31	3.9
225	62.50%	87.00%	59.55	3.42	87.00%	56.56	3.25
240	66.70%	90.50%	61.95	2.4	90.50%	58.83	2.28
255	70.80%	93.00%	63.66	1.71	93.00%	60.46	1.63
270	75.00%	94.50%	64.68	1.03	94.50%	61.43	0.98
285	79.20%	95.50%	65.37	0.68	95.50%	62.08	0.65
300	83.30%	96.50%	66.05	0.68	96.50%	62.73	0.65
315	87.50%	97.50%	66.74	0.68	97.50%	63.38	0.65
330	91.70%	98.50%	67.42	0.68	98.50%	64.03	0.65
345	95.80%	99.50%	68.11	0.68	99.50%	64.68	0.65
360	100%	100%	68.45	0.34	100%	65.01	0.33

De acuerdo con la información relacionada, se realizó el montaje del modelo hidrológico en el programa HEC-HMS de acuerdo con lo exigido en la normatividad vigente. A continuación se presenta el modelo hidrológico desarrollado y el hietograma calculado para la cuenca de Los Ángeles:

*ma.*



Tabla 10. Caudales máximos por sub-cuenca.

Sub-cuenca	Caudal (m <sup>3</sup> /s)
Los Ángeles	20.15
Carmelo	15.58
Villa Amalia	8.67
Cortijo	7.69
Engativá	6.70
Parques	4.77
Marandú	3.60
Marantá	2.29
Villa Gladys	2.67
Muelle	2.26

### 3. Modelación hidráulica

Para realizar la modelación hidráulica del humedal Juan Amarillo se construyó un modelo hidráulico bidimensional en el programa HEC-RAS versión 5.0.3. Este programa resuelve tanto las ecuaciones bidimensionales de Saint Venant como las ecuaciones bidimensionales de onda difusiva. Para el análisis de flujo bidimensional bajo condiciones de flujo no permanente, HEC-RAS utiliza un algoritmo implícito de volúmenes finitos. El algoritmo de solución implícito permite pasos computacionales más grandes que los métodos explícitos, a la vez que proporciona una gran estabilidad y robustez.

El dominio computacional del humedal Jaboque fue definido en el programa HEC-RAS mediante una malla de 112,091 celdas con un área promedio de 15.41 m<sup>2</sup> (Figura 10). Se incluyeron breaklines en todos los jarillones, muros y márgenes de los cauces principales existentes, de manera que en estos lugares se generaron celdas que presentan caras orientadas en el perímetro de estos elementos, garantizando resultados con un mayor grado de confiabilidad.

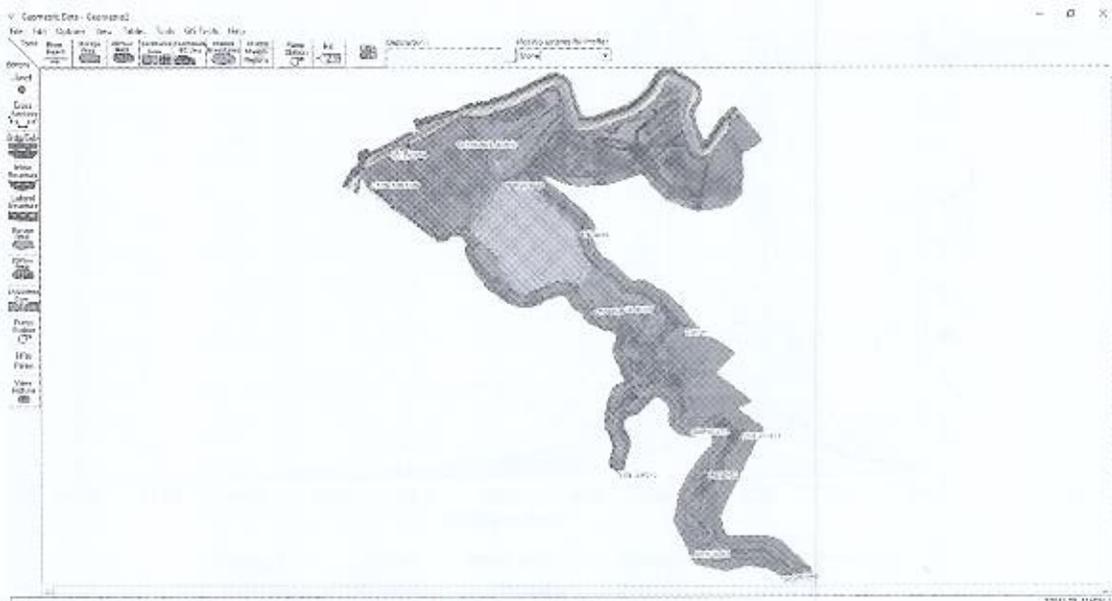


Figura 10. Dominio computacional del humedal Jaboque en HEC-RAS.

### 3.1. Construcción del modelo

#### 3.1.1. Información topográfica

Para realizar la modelación hidráulica bidimensional es absolutamente esencial contar con un modelo de terreno con alto nivel de detalle y precisión. El modelo de terreno puede provenir de distintas fuentes, formatos y nivel de detalle. En la modelación hidráulica del humedal Jaboque, se construyó un modelo digital de elevaciones con una resolución espacial de 0.5 metros por 0.5 metros, utilizando distintas fuentes de información, las cuales se describen a continuación.

- Modelo digital de terreno producto del contrato No. 2-02-26600-1004-2016 cuyo objeto es la "Elaboración de control, ortofoto y productos cartográficos para los diseños de los corredores ambientales del río Tunjuelo, río Fucha, Humedal Jaboque, humedal Juan Amarillo y parque regional San Rafael". El levantamiento LiDAR fue realizado en el año 2017, a partir del cual se construyó un modelo digital de terreno con una resolución espacial de 0.5 metros x 0.5 metros (Figura 11).

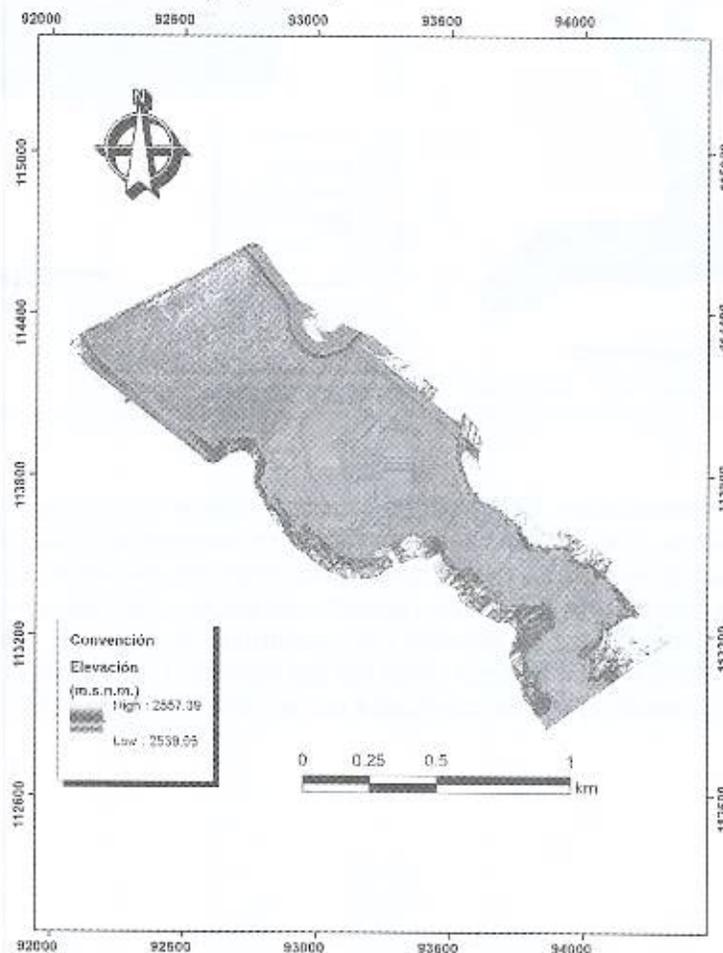


Figura 11. DEM Parques Lineales.

- Modelo digital de elevaciones construido a partir de información LiDAR suministrada por la Dirección de Información Técnica y Geográfica (DITG). La DITG suministró a la DIE la información LiDAR que incluye el primer tercio del humedal Jaboque y la “madre vieja” del río Bogotá localizada en la zona norte de este, sobre la margen derecha del mismo. La DIE procesó esta información y construyó un DEM en formato raster con resolución espacial de 0.5 metros x 0.5 metros (Figura 12). Esta información fue levantada en el año 2009.

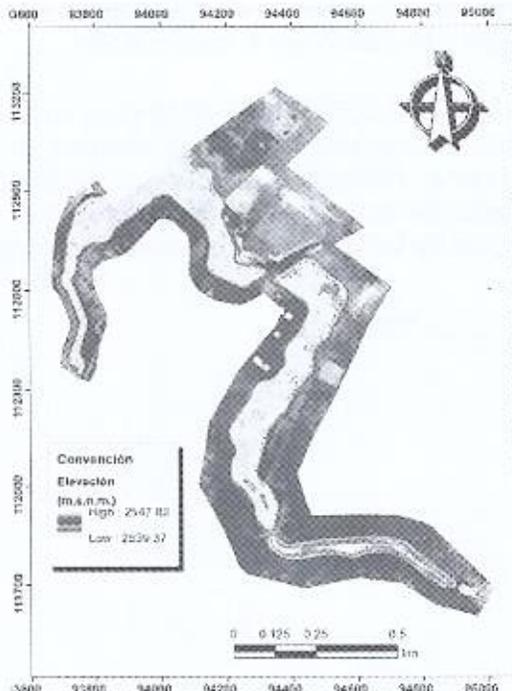


Figura 12. DEM Información LiDAR 2009 DITG.

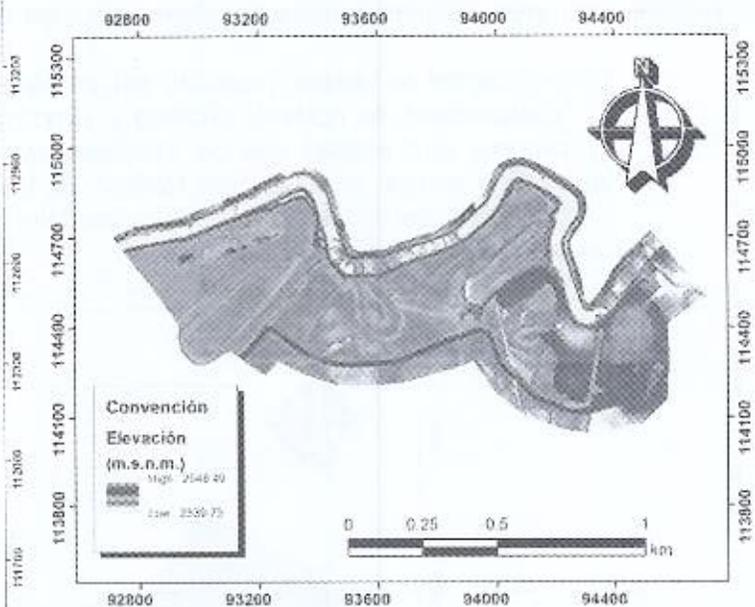


Figura 13. DEM Madre vieja río Bogotá. LiDAR 2009.

- **Canales Perimetrales.** El humedal Jaboque cuenta con cuatro canales perimetrales de aguas mínimas, dos de estos canales inician en la carrera 105D, luego de la confluencia de los canales Los Ángeles y El Carmelo y los otros dos inician en el brazo del sector de Villa Gladys. La información LiDAR no registra elevaciones por debajo del nivel del agua, por tal motivo el raster de estos canales fue construido a partir de los planos record de obra construida, también se incluyó parte de los canales Los Ángeles y Carmelo, así como la estructura de sedimentación localizada en la confluencia de estos dos canales.



Figura 14. Plano record de obra canales perimetrales Humedal Jaboque.

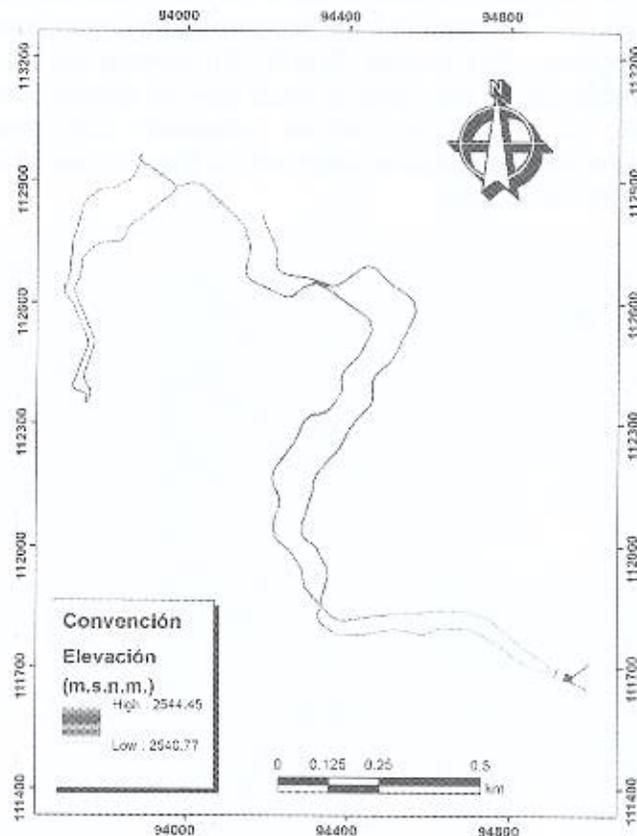


Figura 15. DEM Canales perimetrales de aguas mínimas Humedal Jaboque.

- **Batimetría tercios medio y bajo del humedal.** En el marco de contrato, cuyo objeto fue la "Construcción de las obras de reconfiguración hidrogeomorfológica y rehabilitación de hábitats acuáticos y semi-acuáticos del humedal Jaboque- II Fase" se realizó el levantamiento de obra record de las intervenciones realizadas en el tercio medio y bajo del humedal. Esta información fue utilizada en este estudio para construir el DEM de este sector. Esta información se prefirió sobre la información LiDAR en los sitios en los que estaba disponible debido a que la información LiDAR no captura el fondo del humedal en los lugares donde existía agua al momento del paso de la aeronave desde la que se emiten las señales para este tipo de levantamiento.
- **Batimetría río Bogotá.** La información topográfica detallada obtenida a partir del levantamiento LiDAR incluye la totalidad del jarillón del río Bogotá frente al humedal Jaboque, sin embargo, el modelo digital de elevaciones del humedal fue complementado con la información de obra record del proyecto "Obras de adecuación hidráulica del río Bogotá en el tramo comprendido entre el sector Alicachín K0+000 a K40+000" ejecutado por la firma FCC Construcción S.A. Sucursal Colombia. Esta información contiene la batimetría del río Bogotá y los jarillones construidos en las márgenes de este.
- **Estructuras.** Se incluyeron las estructuras hidráulicas existentes en el humedal, para esto se utilizaron dos fuentes distintas. A partir de los planos de obra construida se definieron las dimensiones de la estructura de sedimentación localizada en la confluencia de los canales Los Ángeles y El Carmelo (Figura 16), además de los soportes de las estructuras de cribado localizadas en este sitio, al igual que las estructuras de paso localizadas en las carreras 105D, 109 y 111, también se incluyeron dos conexiones existentes entre el humedal Juan Amarillo y la Madre Vieja del río Bogotá, así como las tuberías de descarga del humedal en el río Bogotá.

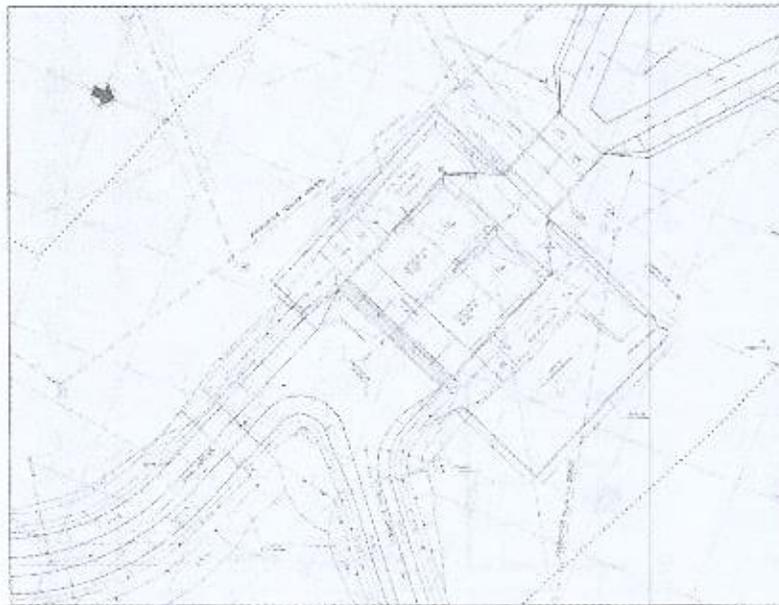


Figura 16 Plano record de obra estructura de sedimentación.

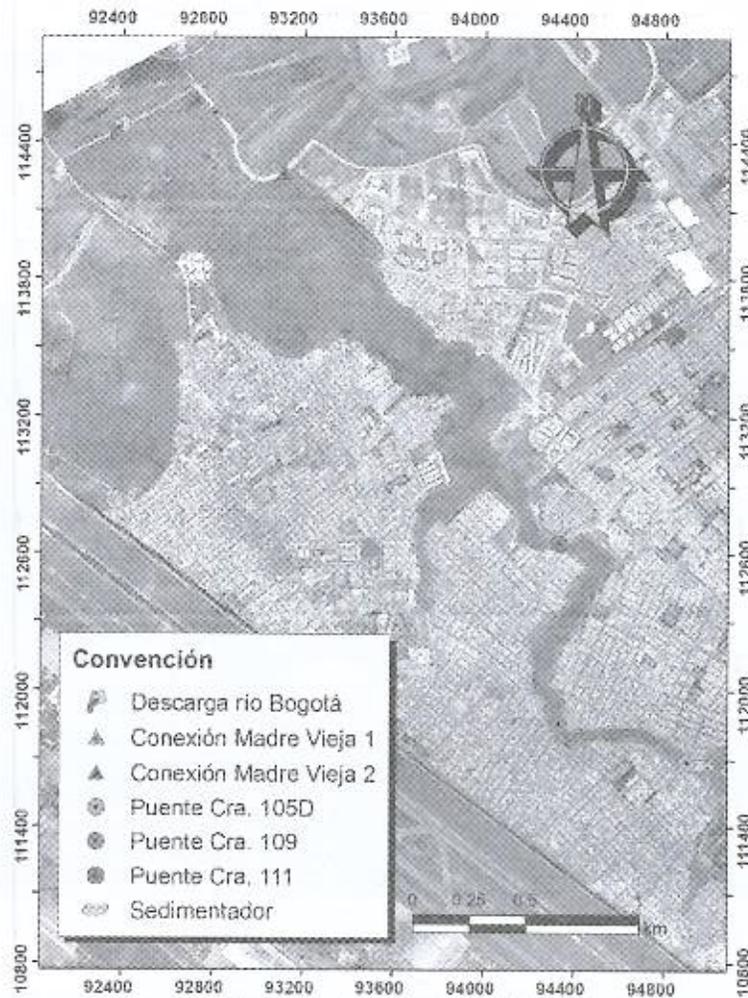


Figura 17. Estructuras incluida en el modelo hidráulico.

La estructura de soporte del cribado localizado en la confluencia de los canales Los Ángeles y El Carmelo está constituida por cuatro celdas de 3.65 metros de ancho por 2.62 metros de alto y dos celdas de 3.6 metros de ancho por dos metros de 2.62 metros de altura.

El pontón de la carrera 105 D está constituido por dos celdas de 4.5 metros de ancho por 2.2 metros de alto. El pontón de la carrera 109 presenta dos celdas de 5.0 metros de ancho por 2.2 metros de alto, finalmente, el pontón de la carrera 111 presenta dos celdas de 6.0 metros de ancho por 2.2 metros de alto.

La información de entrega del humedal Jaboque en el río Bogotá y las conexiones entre el humedal Jaboque y la Madre Vieja del río Bogotá, fueron levantadas por la Dirección de Información Técnica y Geográfica de la EAB. La entrega del humedal en el río Bogotá se realiza a través de tres tuberías, cuyas propiedades se muestran en la Tabla 11. Estas tuberías presentan válvulas tipo chapaleta para impedir el flujo desde el río Bogotá hacia el interior del humedal (Figura 18).

Tabla 11. Tuberías entrega humedal Jaboque en el río Bogotá.

Tubería	Diámetro (m)	Cota Batea Inicial (m.s.n.m.)	Cota Batea Final (m.s.n.m.)
1	0.92	2541.23	2541.21
2	0.92	2541.29	2541.27
3	0.92	2544.05	2543.74



Figura 18. Tuberías de descarga del humedal Jaboque en el río Bogotá.

La primera conexión entre el humedal Jaboque y la Madre Vieja del río Bogotá se realiza a través de una tubería de 0.92 m de diámetro, la cota batea inicial es 2541.76 msnm y la cota batea final es 2541.71 msnm.

La segunda conexión entre el humedal Jaboque y la Madre Vieja del río Bogotá también se realiza a través de una tubería de 0.92 m de diámetro, la cota batea inicial es 2541.2 msnm y la cota batea final es 2540.79 msnm.

### 3.2. Caudales de análisis

Teniendo en cuenta que el propósito de la modelación hidráulica es el de determinar el área del humedal inundada al transitar la creciente correspondiente al período de retorno de cien (100) años, se utilizaron los caudales correspondientes a este período de retorno; cuya determinación se muestra en la sección 2. Los puntos de carga de caudal para cada una de las sub-cuencas se muestran en la Figura 19.

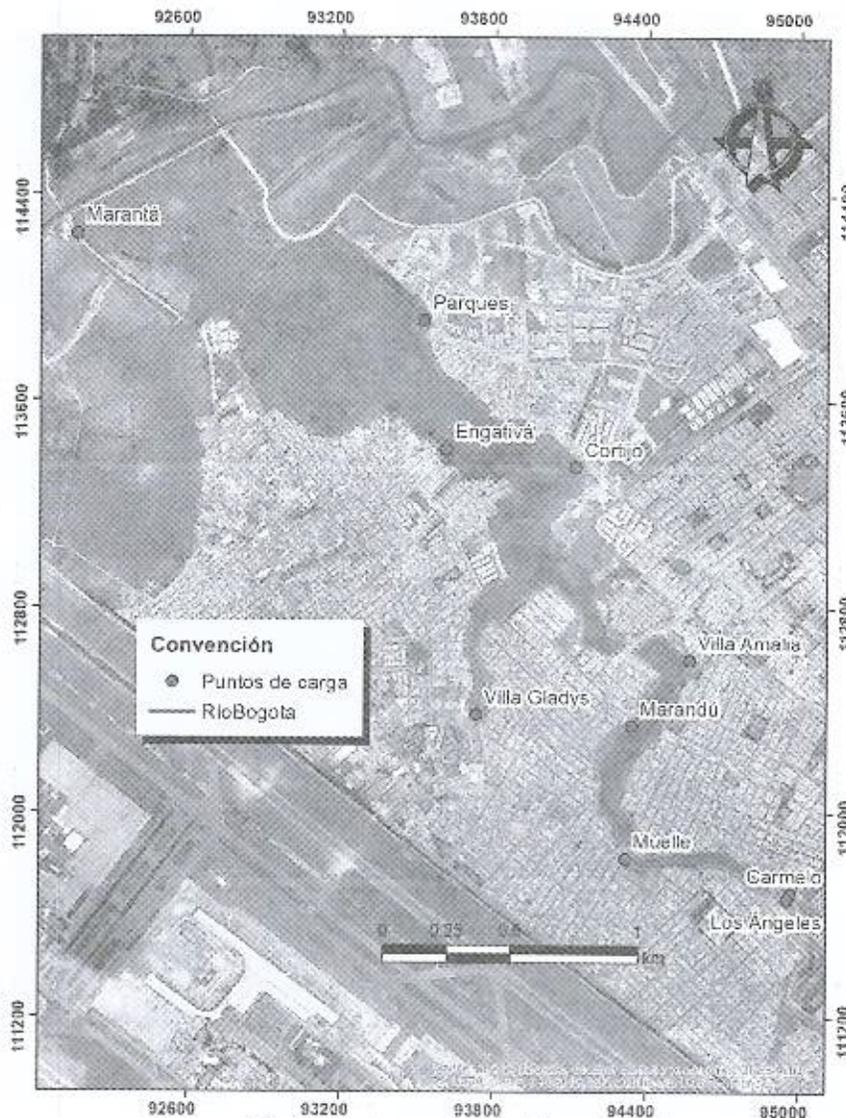


Figura 19. Puntos de carga de caudal en el modelo.

### 3.3. Rugosidad

En la construcción del modelo se consideraron dos valores del coeficiente de rugosidad de Manning, cuya distribución espacial se muestra en la Figura 20. Para los canales perimetrales de aguas minimas se consideró un valor de 0.015, mientras que para el resto del cuerpo del humedal se consideró un valor del coeficiente de rugosidad de 0.1, valores que se encuentran dentro de lo recomendado en la norma de diseño de alcantarillados NS-085.



Figura 20. Coeficiente de rugosidad de Manning.

### 3.4. Condición de frontera y condiciones iniciales

La condición de frontera aguas abajo correspondió a la cota 2542.69 m.s.n.m., que corresponde al nivel del río Bogotá en el sitio de descarga del humedal Jaboque para la condición de caudal correspondiente al periodo de retorno de cien (100) años. Esta cota fue definida en el "Estudio hidráulico para el diseño de protección contra inundaciones del río Bogotá" ejecutado por el ingeniero Germán Monsalve Sáenz en el marco del "Proyecto de saneamiento y adecuación cuenca del río Bogotá dentro del Megaproyecto río Bogotá" contratado por la Corporación Autónoma de Cundinamarca (CAR).

Con el objetivo de analizar el efecto de las condiciones del nivel inicial de agua existente en el humedal, previas al tránsito del caudal correspondiente al periodo de retorno de cien (100) años, se consideraron tres escenarios:

- **Escenario 1.** Humedal completamente vacío.
- **Escenario 2.** Cota 2542.10 m.s.n.m. que corresponde al nivel de la cresta de los vertederos construidos en el tercio medio del humedal.
- **Escenario 3.** Cota 2542.69 m.s.n.m. que corresponde al nivel del río Bogotá en el sitio de descarga del humedal Jaboque para la condición de caudal correspondiente al período de retorno de cien (100) años.

#### 4. Resultados Obtenidos

Los resultados obtenidos para los tres escenarios considerados fueron los siguientes:

##### Escenario 1. Condición inicial humedal vacío.

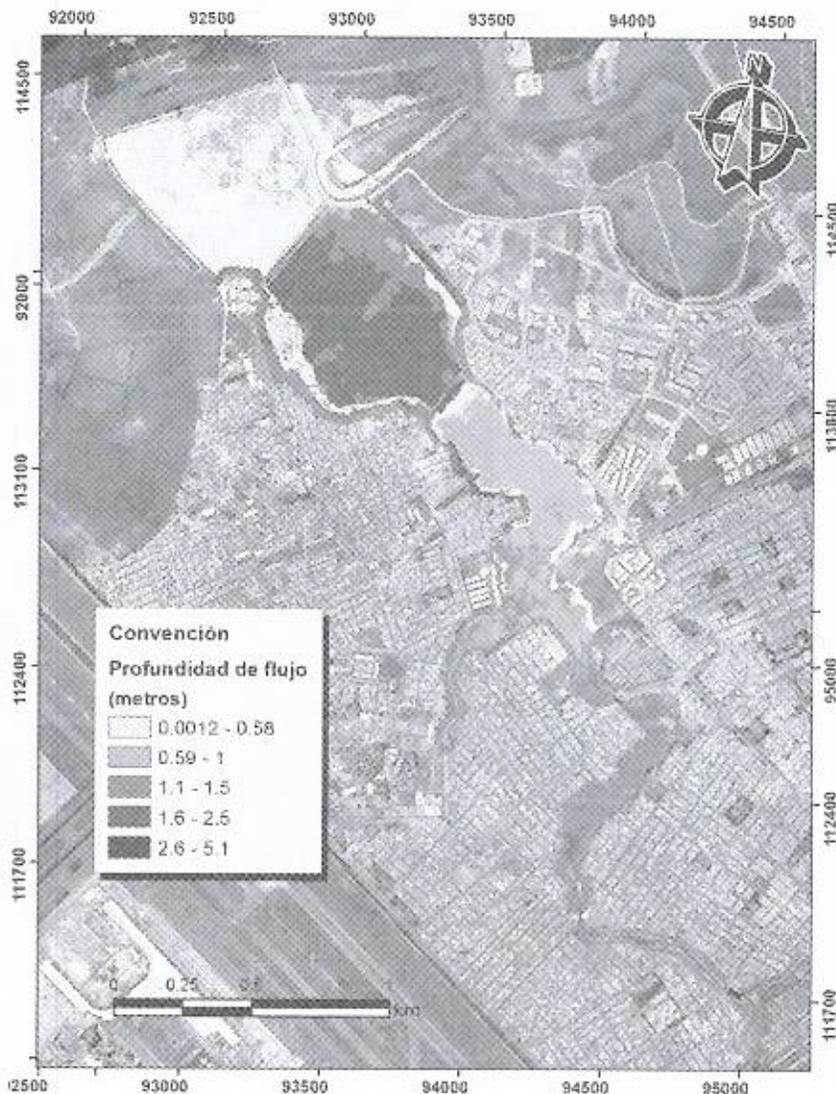


Figura 21. Profundidad de flujo humedal Jaboque Tr 100 años. Escenario 1 - Condición inicial humedal vacío.

**Escenario 2. Condición inicial de nivel en el humedal cota 2542.10 m.s.n.m.**

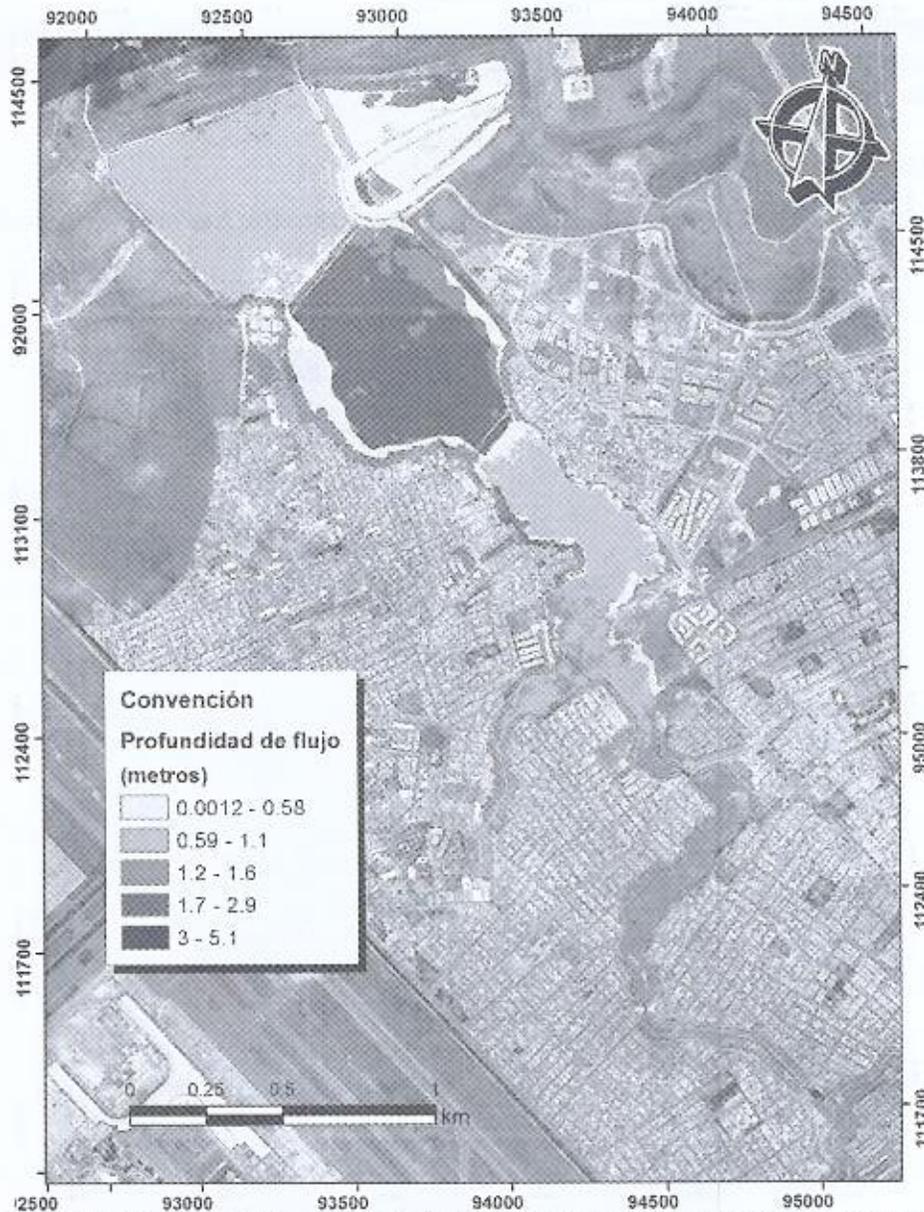


Figura 22. Profundidad de flujo humedal Joboque Tr 100 años. Escenario 2: Condición inicial 2542.10 m.s.n.m.

**Escenario 3. Condición inicial de nivel en el humedal cota 2542.69 m.s.n.m.**

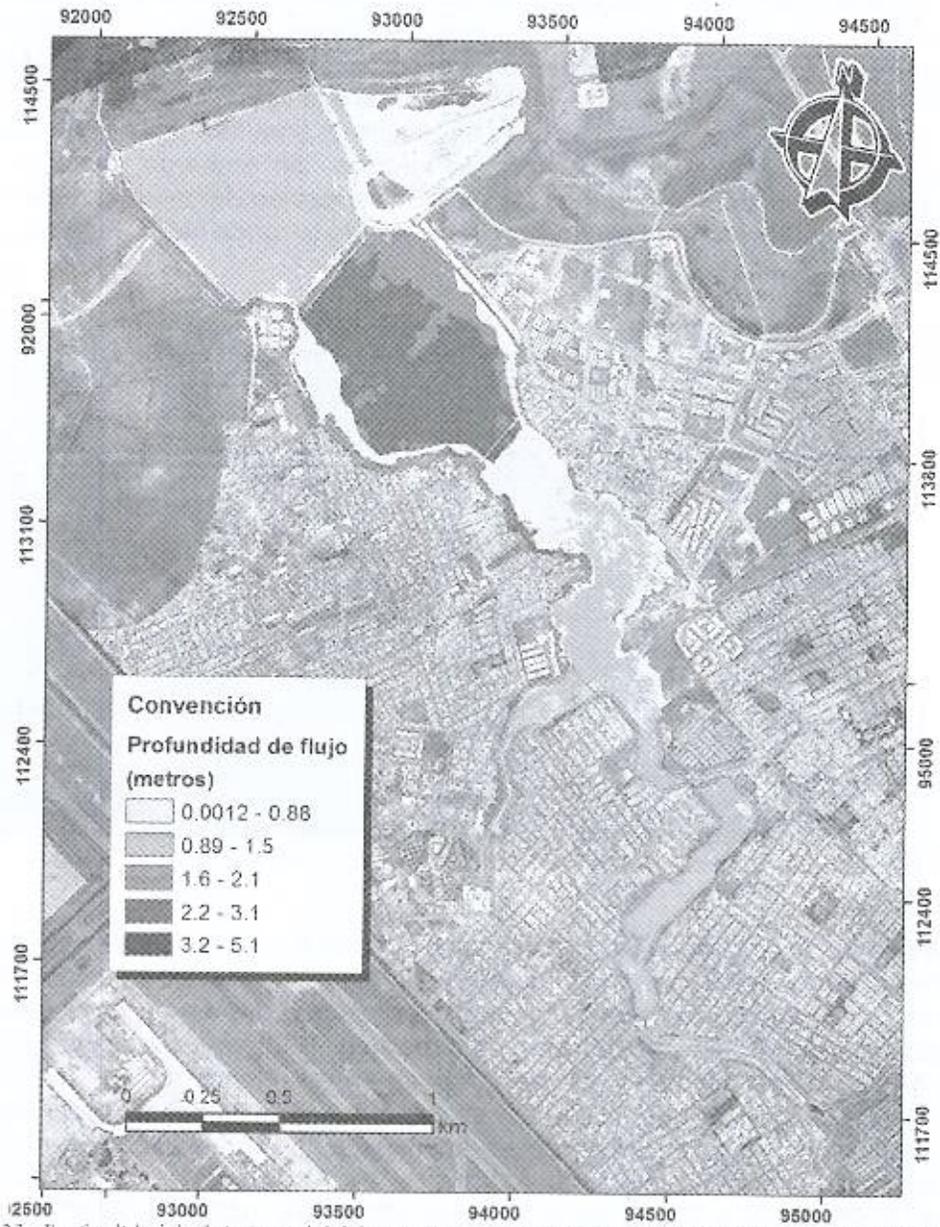


Figura 23. Profundidad de flujo inmedal Juboque Tr 100 años Escenario 3: Condición inicial 2542.69 m.s.n.m

Los resultados de la modelación hidráulica muestran que para los tres escenarios evaluados los resultados no presentan diferencias significativas en lo que respecta al área inundada en el cuerpo principal del humedal, sin embargo, a medida que se considera un mayor nivel inicial, la Madre Vieja del río Bogotá presenta una mayor área de inundación. Los resultados del Escenario 3 muestran que el nivel del agua supera el nivel del jarillón considerado como límite del dominio computacional utilizado (ver Figura 24), por lo tanto en este escenario el área inundada en la Madre Vieja del río Bogotá sería mayor a la presentada en este informe, sin embargo, dado el propósito de la modelación, no se considera necesario realizar la modificación del modelo debido a que la Madre Vieja actualmente se encuentra delimitada como parte de la ronda hidráulica y la zona de manejo y preservación ambiental del río Bogotá.

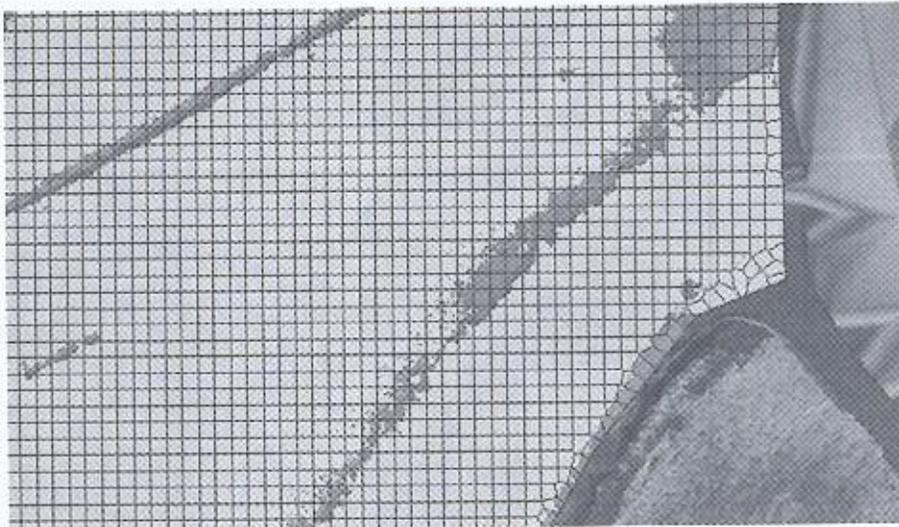


Figura 24. Detalle resultados Escenario 3.

En el Escenario 1, los resultados de la modelación hidráulica muestran que considerando el humedal completamente vacío al inicio de la simulación, así como suponiendo la coincidencia de todos los picos de los caudales provenientes de las sub-cuencas que drenan hacia el humedal en el primer tercio de este, se tendría un caudal máximo de entrada de  $67.32 \text{ m}^3/\text{s}$  mientras que, de acuerdo con el modelo hidráulico, al final de este sector (entrada en el segundo tercio) el caudal máximo es de  $36.0 \text{ m}^3/\text{s}$  (Figura 26). Para esta condición inicial, el primer y segundo tercio del humedal tienen suficiente capacidad para almacenar casi en su totalidad los volúmenes de escorrentía generados para las tormentas con el periodo de retorno de cien (100) años, lo cual se evidencia en el hidrograma de salida del segundo tercio del humedal (caudal máximo  $6.36 \text{ m}^3/\text{s}$ ), considerando que la sub-cuenca Parques descarga un caudal máximo de  $4.77 \text{ m}^3/\text{s}$  directamente en el tercio medio del humedal.

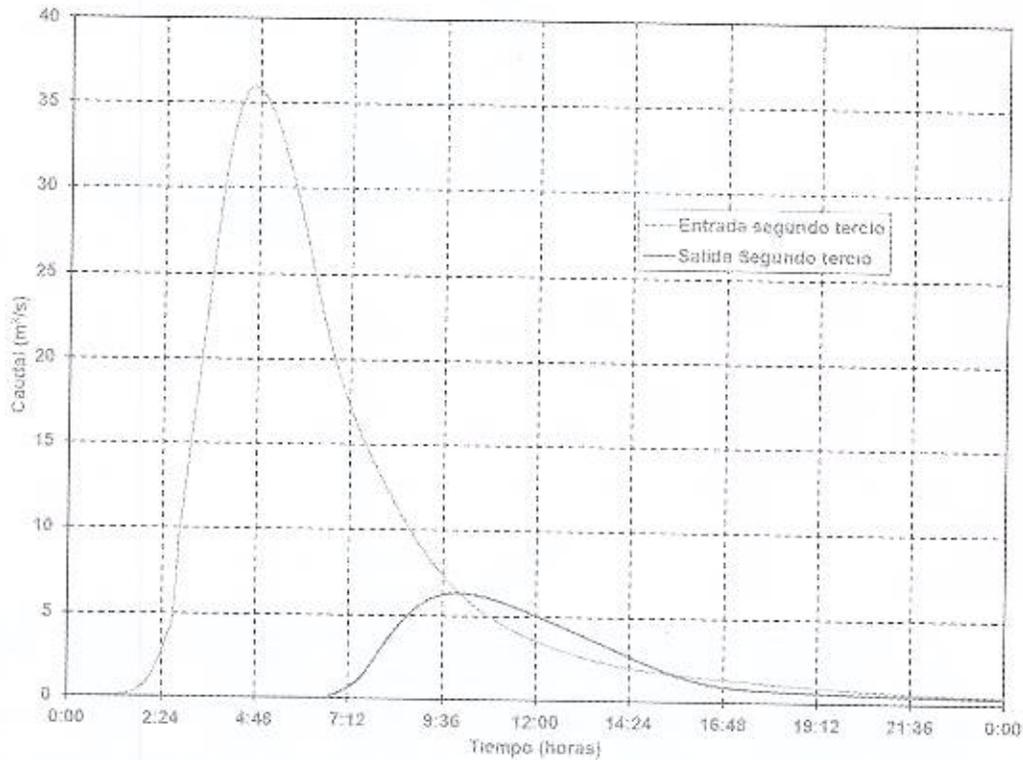


Figura 25. Caudal de entrada y salida del segundo tercio del humedal. Condición inicial humedal vacío.

En el Escenario 2, los resultados de la modelación hidráulica muestran que a pesar de presentar un nivel inicial en la cota 2542.10 m.s.n.m. el primer tercio del humedal presenta una gran capacidad de amortiguación. En el primer tercio del humedal, suponiendo la coincidencia de todos los picos de los caudales provenientes de las sub-cuencas que drenan hacia el humedal en este sector, se tendría un caudal máximo de entrada de  $67.32 \text{ m}^3/\text{s}$  mientras que, de acuerdo con el modelo hidráulico, al final de este sector (entrada en el segundo tercio) el caudal máximo es de  $37.42 \text{ m}^3/\text{s}$  (Figura 26). De igual forma, el segundo tercio, a pesar de presentar un nivel inicial coincidente con la cresta de los vertederos de salida instalados en este sector, logra atenuar el pico de entrada en aproximadamente  $10.6 \text{ m}^3/\text{s}$ , teniendo en cuenta que la sub-cuenca Parques descarga un caudal máximo de  $4.77 \text{ m}^3/\text{s}$  directamente en este sector.

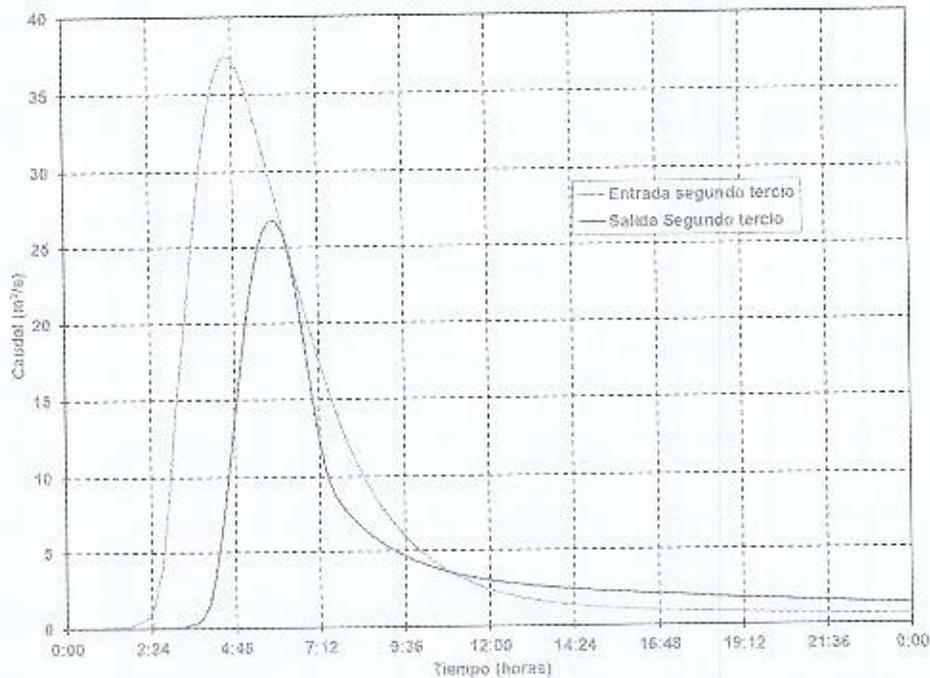


Figura 26. Caudal de entrada y salida del segundo tercio del humedal. Condición inicial cota 2542.10 m.s.n.m.

La DIE recomienda adoptar el resultado del Escenario 2 (Condición inicial 2542.10 m.s.n.m.) como uno de los insumos para la delimitación de la ronda hidráulica del humedal Jaboque, al considerarse un escenario conservador de la condición evaluada. Los resultados del Escenario 1 (humedal vacío inicialmente) no se consideran adecuados debido a que los vertederos existentes en el tercio medio del humedal buscan mantener, tal como fueron diseñados, un nivel mínimo de agua en este sector. Los resultados del Escenario 3, se consideran demasiado conservadores, debido a que esta condición implicaría que se presenten de manera consecutiva los caudales correspondientes al periodo de retorno de cien años, condición que presenta una probabilidad conjunta de ocurrencia demasiado baja, teniendo en cuenta que adicionalmente se consideró como condición de frontera aguas abajo el nivel del río Bogotá correspondiente al periodo de retorno de cien años.

#### 4.1. Evaluación de alternativas para limitar la extensión máxima de la inundación en puntos críticos

Los resultados de la modelación hidráulica muestran que para los caudales correspondientes al periodo de retorno de cien (100) años, la extensión máxima del área inundada del humedal supera en varios lugares el límite legal del humedal e inundaría ligeramente sectores donde la EAB proyecta ejecutar una obra; estos tramos se muestran en la Figura 27. Atendiendo la solicitud realizada por la DGASH, se realizó la evaluación de una posible alternativa que limitara la extensión del área inundada en los mencionados sectores, la cual consiste en la construcción de jarillones a lo largo de los tramos mostrados en la Figura 27. Es importante aclarar que el análisis realizado es exclusivamente hidráulico, por lo que la decisión definitiva en cuanto a la viabilidad de la adopción de la alternativa propuesta debe incluir criterios legales, geomorfológicos, geotécnicos, estructurales, ambientales, etc.

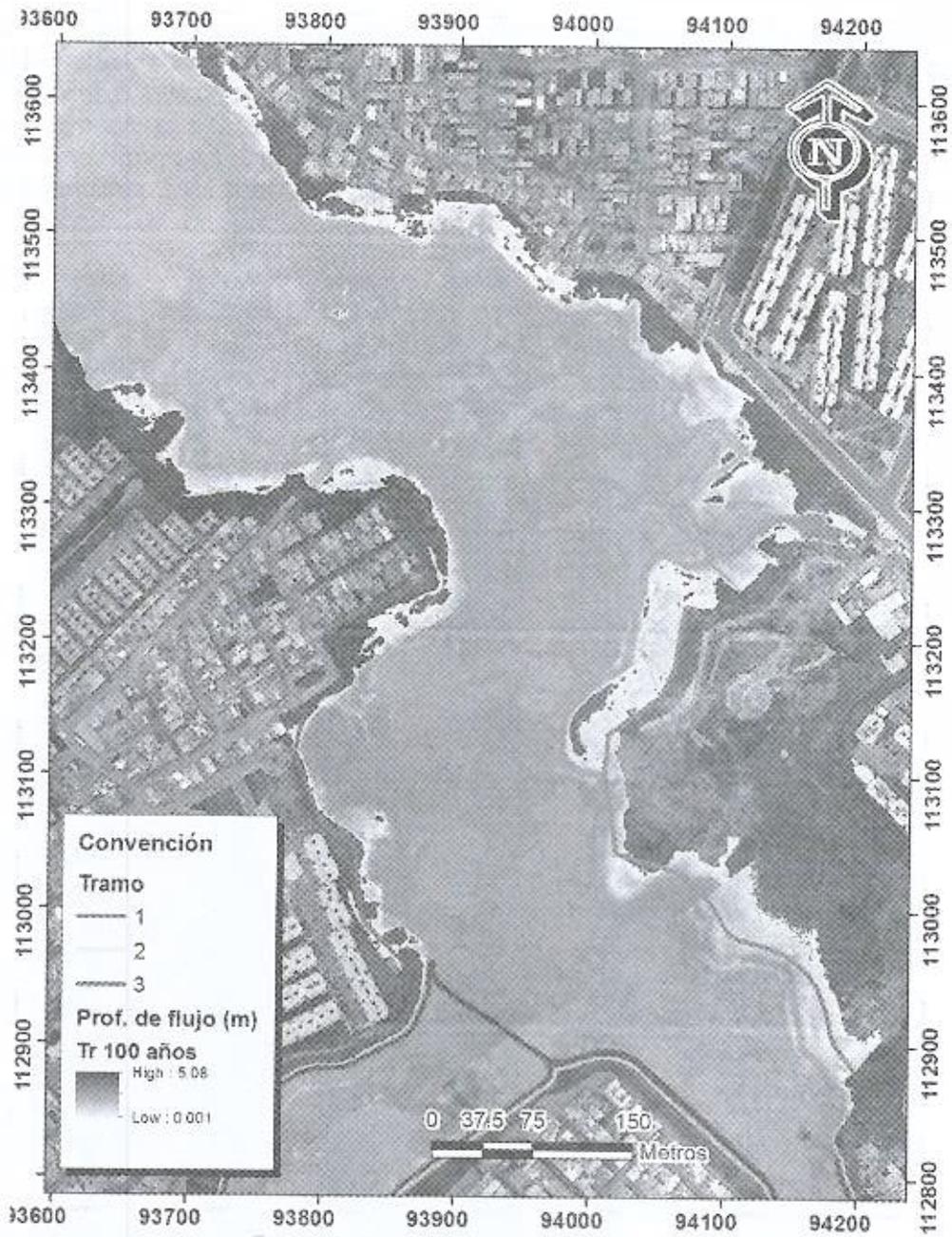


Figura 27. Tramos que requerirían intervención.

Con base en los resultados obtenidos inicialmente, para confinar la extensión máxima del área inundada dentro del límite legal del humedal, es necesario conformar un jarillón en el tramo 1 hasta la cota 2544 m.s.n.m. en una longitud total de 473.2 metros, en el tramo 2 hasta la cota 2543.8 m.s.n.m. en una longitud de 56.9 metros y en el tramo 3 hasta la cota 2544 m.s.n.m. en una longitud total de 209.7 metros.

*Handwritten signature*

Estos elementos fueron incluidos en el modelo hidráulico con el nombre Escenario "Con Jarillones" y se evaluaron bajo las mismas condiciones de caudal utilizadas en el modelo inicial, pudiéndose verificar que las medidas recomendadas son suficientes para contener la extensión máxima de la inundación dentro del límite legal del humedal en los puntos críticos, a su vez que se garantiza que no se presenta un incremento del riesgo de inundación en otros sectores. Los resultados de la modelación en los puntos identificados como críticos, incluyendo los jarillones propuestos, se muestran en la Figura 28.

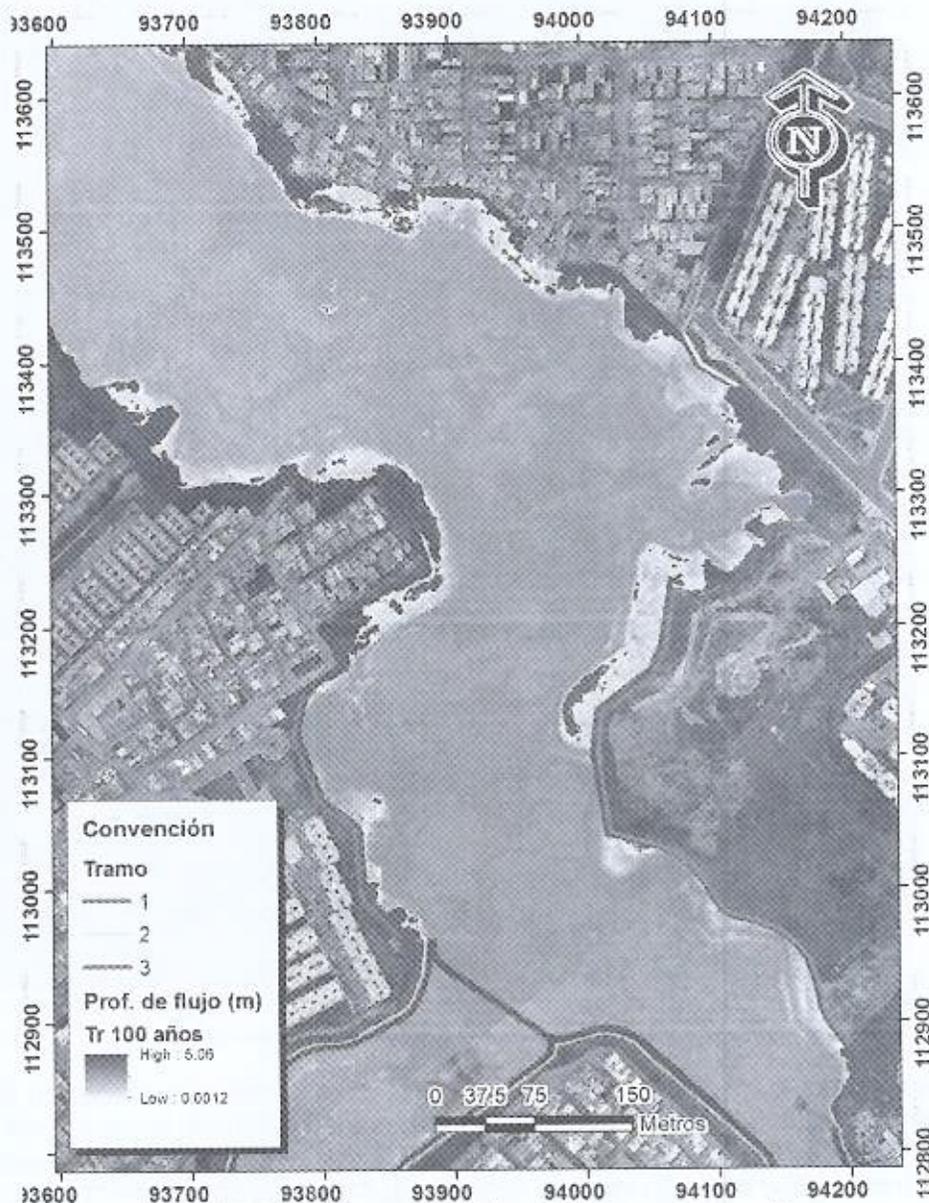


Figura 28. Resultados caudal Tr 100 con jarillones en tramos críticos.

A continuación en la Tabla 12 se presentan las coordenadas donde la DIE proyecta los jarillones:

Tabla 12. Coordenadas de los jarillones proyectados.

Jarillón Tramo 1		Jarillón Tramo 1		Jarillón Tramo 2		Jarillón Tramo 3		Jarillón Tramo 3	
X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
94197.31	112877.43	94088.32	113003.95	94112.38	113379.99	93860.79	112966.82	93825.99	113046.81
94190.39	112887.13	94081.06	113013.04	94088.43	113394.19	93855.66	112971.51	93823.25	113050.23
94181.26	112899.53	94067.90	113023.46	94075.73	113417.94	93850.58	112976.59	93813.30	113056.95
94177.53	112907.89	94055.22	113028.69			93845.24	112981.53	93803.41	113063.88
94173.90	112926.75	94016.39	113039.31			93840.10	112986.49	93800.18	113066.82
94167.54	112943.84	94006.23	113101.34			93836.63	112990.36	93786.53	113103.94
94158.92	112954.97	94009.20	113134.22			93834.28	112994.19	93782.77	113113.89
94144.59	112966.22	94050.14	113164.60			93832.73	112998.78	93782.04	113117.22
94128.64	112972.24	94058.72	113183.82			93831.06	113015.41	93782.04	113119.82
94111.52	112976.00	94066.44	113231.67			93829.08	113034.60	93788.32	113144.46
94103.73	112980.25	94076.74	113227.37			93827.88	113042.81		
94093.81	112995.23								

## 5. Conclusiones y recomendaciones

El modelo hidráulico bidimensional del humedal Jaboque desarrollado en el programa HEC-RAS permitió determinar el área inundada al transitar el caudal correspondiente al periodo de retorno de cien (100) años.

Los resultados de la modelación muestran que no se presenta una variación significativa del área inundada en el cuerpo principal del humedal al considerar varias condiciones de niveles iniciales, sin embargo se recomienda utilizar los resultados obtenidos con la condición inicial de 2542.10 m.s.n.m. como un resultado conservador del área inundada al transitar por el humedal el caudal correspondiente al periodo de retorno de cien (100) años. Esta recomendación también se da debido a que los modelos hidrológico e hidráulico desarrollados para determinar los caudales de análisis y para realizar la modelación hidráulica del humedal, presentan incertidumbres de distinta naturaleza, las cuales no fueron cuantificadas dentro de este análisis.

Los resultados de la modelación del escenario de caudales correspondiente al periodo de retorno de cien (100) años muestran que la extensión máxima del área inundada excede el límite legal del humedal. Ante la solicitud realizada por la DGASH en el sentido de evaluar medidas estructurales para garantizar que para las condiciones evaluadas la extensión del área inundada por el humedal no supere los límites establecidos legalmente; la DIE evaluó la efectividad de la construcción de tres jarillones en los puntos identificados como críticos. Los resultados de la modelación muestran que los jarillones evaluados logran contener la extensión del área inundada por el humedal dentro del

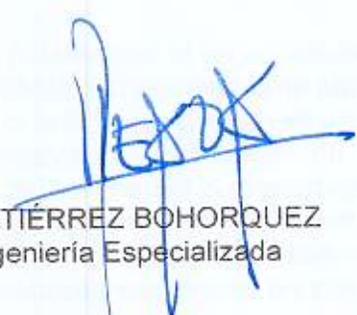
limite legal del mismo, garantizando que no se presenta un aumento significativo del riesgo de inundaciones en otros sectores. La DIE aclara que la evaluación realizada se efectuó exclusivamente atendiendo a la solicitud realizada por parte de la DGASH e incluye únicamente un criterio hidráulico, por lo tanto la viabilidad definitiva de la adopción de esta alternativa debe determinarse considerando criterios legales, geomorfológicos, geotécnicos, estructurales, ambientales, etc.

El modelo hidráulico del humedal Jaboque fue desarrollado a partir de diversas fuentes de información topográfica que presentan distintos niveles de precisión. A medida que se cuente con información detallada actualizada de todos los sectores del humedal, esta podrá ser incorporada en el modelo.

## Referencias

- Consortio Jaboque 2008. (2008). *Consultoría para el diseño de la reconfiguración hidrogeomorfológica y de hábitats acuáticos del humedal Jaboque - Tercio medio y bajo. Contrato No. 1-02-24100-949-2008.* Bogotá.
- Consortio Jaboque II. (2017). Planos record de obra proyecto "Reconfiguración hidrogeomorfológica y rehabilitación de hábitats acuáticos y semiacuáticos del humedal Jaboque (II Fase) Localidad de Engativá - Barrio el Gaco. Bogotá, Colombia.
- Constructora de los Andes COANDES CIA LTDA. (2002). Plano Record canales perimetrales Brazo Villa Gladys y Pontón Cra 111C Brazo Villa Gladys. Bogotá, Colombia.
- FCC Construcción Sursursal Colombia. (2016). Planos record de obra proyecto "Obras de adecuación hidráulica del río Bogotá en el tramo comprendido entre el sector Alicachín K0+000 A K40+000 . Bogotá, Colombia.
- I.E.H. Grucon Ltda. (1999). Actualización y complementación de los diseños del sistema de drenaje pluvial y sanitario Jaboque II. Bogotá, Colombia.
- INGETEC S.A. (2015). *Consultoría para la actualización del Plan Maestro de abastecimiento y la elaboración y formulación del Plan Maestro de alcantarillado para Bogotá y sus municipios vecinos.* Bogotá.
- US Army Corp of Engineers. (2006). *HEC-RAS River Analysis System 2D Modelling User's Manual Version 5.0.*

Cordialmente,



**DIEGO GUTIÉRREZ BOHORQUEZ**  
Director Ingeniería Especializada

Anexo: Modelo Hidrológico HEC-HMS, Modelo Hidráulico HEC-RAS, Archivos Raster y Shape área inundada condición actual y con jarillones, Shape y coordenadas jarillones, fotografías visita técnica e informe – un DVD (3.04 GB – 315 archivos – 20 carpetas).

Copia: Dirección de Ingeniería Especializada, Consecutivo.

Revisó: Daniel Rodríguez Amaya – Profesional Especializado. 

Elaboró: Fabio Amador y Edwin Porras.