MEMORANDO INTERNO

2620001-2019-DIE-200

Bogotá D.C., 28 de marzo de 2019

PARA: EDGAR ALBERTO ROJAS
Director Gestión Ambiental de Sistema Hídrico

DE: Dirección de Ingeniería Especializada

ASUNTO: Modelación hidráulica e hidrológica del humedal Tibanica.
En respuesta al Aviso SAP No. 400068177.

Cordial saludo Dr. Rojas,

Atendiendo la solicitud de servicio del asunto donde la Dirección Gestión Ambiental del Sistema Hídrico (DGASH) le solicita a la Dirección de Ingeniería Especializada (DIE) realizar la modelación hidráulica e hidrológica del humedal Tibanica para la creciente con el período de retorno de cien años (Tr 100), a continuación se describen las actividades realizadas y los resultados obtenidos para dar respuesta a su solicitud.

1. INTRODUCCIÓN

El humedal Tibanica hace parte del sistema hídrico de la localidad de Bosa, al occidente de la Autopista Sur y al suroccidente de Bogotá en límite con el municipio de Soacha. Tiene una cobertura de 21.6 Ha, según el Decreto 190 de 2004 por medio del cual se adoptó el Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá.

El humedal está localizado en la localidad de Bosa, donde se encuentra el área inundable conocida con el nombre de Potrero Grande. Se encuentra en el barrio Villa Anny I y limita al norte con los barrios San Bernardino I y Charles de Gaulle, al oriente con los barrios José María Carbonell y Villa Anny II, al occidente con el canal Tibanica que define el límite del Distrito y al sur con el Municipio de Soacha.

A continuación, se presenta la condición actual del humedal de acuerdo con la visita técnica realizada:

46015
28 MAR. 2019
9:00 AM



Figura 1. Cuerpo de Agua – Humedal Tibanica.

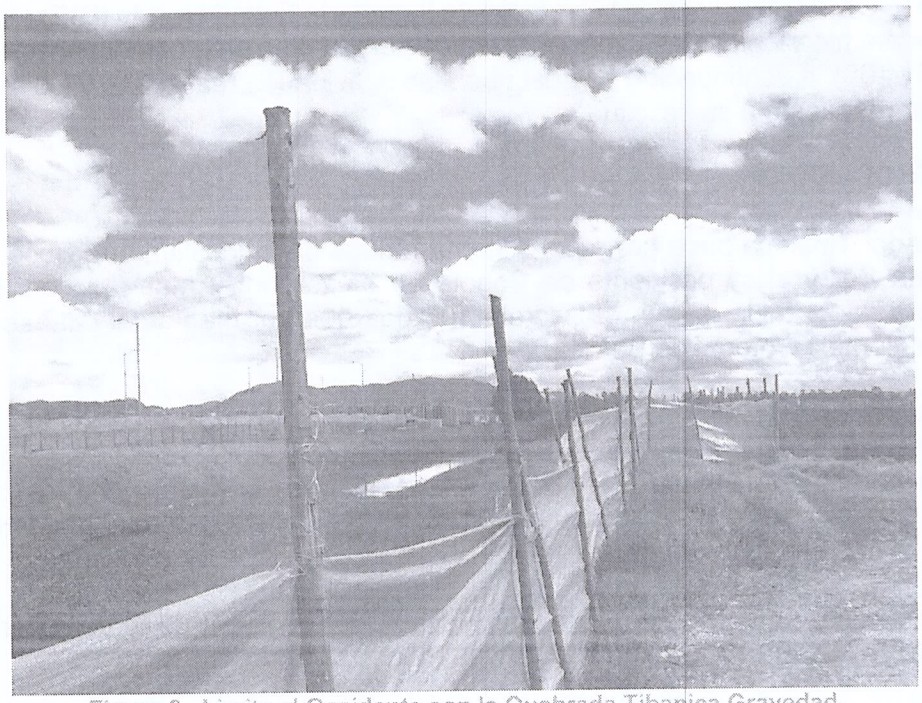


Figura 2. Limite al Occidente con la Quebrada Tibanica Gravedad.

2. Antecedentes

A continuación, se presenta un resumen de la recopilación de información y análisis de información de los estudios técnicos que se han desarrollado en el humedal Tibanica.

2.1. Plan de Manejo Ambiental del Parque Ecológico Distrital Humedal Tibanica (Universidad Nacional de Colombia, 2004)

El plan se ejecutó en el marco del contrato No. 194-2004, mediante el cual la Universidad Nacional de Colombia a través del Instituto de Estudios Ambientales IDEA firmó un contrato interadministrativo con la Secretaria Distrital de Ambiente para realizar la formulación del Plan de Manejo Ambiental del Humedal Tibanica, a continuación se resumen las principales problemáticas encontradas:

- *"El primer problema es el déficit hídrico que actualmente afronta el humedal y la reducida capacidad de almacenamiento y amortiguación hídrica. Esta condición es resultado tanto de las condiciones físicas naturales del humedal, en especial su ubicación en una de las zonas más secas de la ciudad, con una precipitación media anual 25% inferior a la de la ciudad, y de las actividades antrópicas desarrolladas en su cuenca aferente y área de influencia directa; estas últimas se manifiestan en la canalización, rectificación y desaparición de las diversas corrientes naturales que alimentaban el humedal, como la quebrada Tibanica, que era su principal aportante natural y de la cual se encuentra en la actualidad desconectado hidráulicamente."*
- *"Alteración del régimen hídrico y calidad del agua. El humedal es usado como vertedero de aguas combinadas y residuales, tanto domésticas como industriales, lo que afecta la calidad del agua; el humedal presta un servicio en la depuración de aguas y retención de sustancias tóxicas y nutrientes, pero su capacidad de autodepuración se ha superado, lo cual se evidencia en la contaminación de sus aguas.*
- *"Adicionalmente, la capacidad de almacenamiento de agua y amortiguación para el control de crecientes, se encuentran muy limitadas en el humedal por el proceso de relleno con basuras y escombros de los últimos años; el tiempo de retención de agua en el humedal ha disminuido drásticamente, lo que genera una amenaza de inundación en los barrios vecinos."*
- *"Deterioro de los ecosistemas acuático, litoral y terrestre. La afectación de la calidad del cuerpo de agua conlleva a una alteración de las comunidades bióticas que habitan el humedal, favoreciendo el dominio de unas pocas especies y disminuyendo la diversidad biológica y oferta de hábitat y alimento. Las alteraciones en la estructura de las comunidades bióticas, aunada al deterioro del ambiente físico del humedal, afecta el funcionamiento del ecosistema que se evidencia en la hipereutroficación del cuerpo de agua y aceleración de los procesos de colmatación y terrificación (sucesión ecológica)."*
- *"Debilidad en los procesos de organización y sensibilización frente al humedal. Aunque en el área de influencia directa del humedal existe un número considerable de organizaciones comunitarias, de las cuales las de mayor injerencia y legitimidad son las juntas de acción comunal, es necesario adelantar acciones para fortalecer y vincular estas organizaciones a la ejecución del plan de acción. El éxito del presente plan está condicionado, en parte, por el nivel de apropiación, sentido de pertenencia y compromiso de la comunidad por el humedal, como un espacio de todos y para todos."*

- Dentro de la información revisada se encontró que para la problemática presentada se planteó un plan de acción con el fin de preservar y mejorar la calidad del humedal, en el documento se resume el listado de proyectos del programa de adecuación y saneamiento ambiental, el cual se presenta a continuación:

Proyecto	Objetivo	Metas
Adecuación morfológica del Humedal Tibanica	Retirar los rellenos presentes en el Humedal Tibanica y crear diversidad batimétrica.	- Aumentar en, por lo menos, 110.000 m^3 la capacidad de almacenamiento del Humedal Tibanica. - Aumentar en, por lo menos, 75.000 m^3 la capacidad de almacenamiento del área inundable de Potrero Grande.
Adaptación de diseños de alcantarillado pluvial en el área de influencia del Humedal Tibanica	Garantizar un adecuado flujo hídrico que compense el déficit existente en el Humedal Tibanica	- Incorporar las necesidades hídricas del humedal a las soluciones del manejo de aguas lluvias en su área de influencia que se espera finalicen obras en el año 2009. - Habilitar entradas de aguas lluvias de los barrios adyacentes al humedal. - Establecer un adecuado suministro de agua al humedal a través de la Quebrada Tibanica. - Suministrar en promedio 22.000 m^3 anuales de agua adicional al humedal.
Diseño y construcción de sistemas de biotratamiento del Humedal Tibanica	Mejorar las condiciones de calidad de agua aferente al Humedal Tibanica	- Remover por lo menos el 50% de DBO y SST afluentes al humedal. - Remover por lo menos un 20% de los patógenos que ingresan al humedal.
Mantenimiento hídrico del Humedal Tibanica	Mantener el adecuado funcionamiento de las estructuras hidráulicas construidas en el humedal	- Garantizar el adecuado funcionamiento de los sistemas de biotratamiento.
Estudio de las variables hidrológicas, de sedimentación y balance hídrico en el Humedal Tibanica	- Registrar las variables hidrológicas del Humedal Tibanica. - Conocer la variación temporal de los diferentes parámetros hidrológicos, información a partir de la cual puede establecerse el balance hídrico del Humedal Tibanica. - Establecer un modelo de transporte de sólidos en suspensión que ingresan y que pueden ser retenidos en el sistema.	

Figura 3. Proyectos del Programa de Adecuación y Saneamiento Ambiental (Tomado del documento Plan de Acción Tibanica)

2.2. Adecuación hidrogeomorfológica del humedal de Tibanica (Hidromecánicas Ltda., 2006)

En el año 2006, la empresa Hidromecánicas LTDA, realizó el diseño detallado, presupuesto detallado, plan de manejo ambiental de las obras y plan de manejo y monitoreo para la adecuación hidrogeomorfológica del humedal de Tibanica bajo el contrato No 1-02-24100-839-2006.

A continuación, se mencionan los aspectos más destacados de este estudio:

- Se realizaron balances hídricos para cuatro (4) diferentes condiciones, para la serie total (1989 – 2002), para los años húmedo (1994) y seco (1992) y para el año promedio, para las condiciones mencionadas se utilizó un almacenamiento inicial de 82.000 m^3.

- Para las condiciones de año promedio y húmedo, se determinó que: *"el humedal se puede abastecer a partir de los volúmenes precipitados y no necesita aportes adicionales."*
- Para el año seco se encontró que: *"se presenta déficit en casi todos los meses del año, exceptuando los meses de abril, julio y noviembre, por lo tanto se tendría que derivar del canal Tibanica en cada uno de esos meses un caudal para suplir las pérdidas por evaporación. Se puede apreciar que el humedal se puede abastecer a partir de los volúmenes precipitados, contando con los aportes adicionales del canal Tibanica, para un caudal máximo a derivar en el mes de abril de 47 l/s."*
- *"Para el balance hídrico de la serie total se tuvo en cuenta la condición de recibir aportes del canal Tibanica: el modelo contempla que se pueda alimentar el humedal con cualquier caudal aportado por el canal Tibanica, que se convierte en un caudal constante a lo largo del año, para el ejemplo que se presenta se corrió el modelo con caudal de entrada del canal Tibanica de 1 l/seg."*
- Se realizaron las tormentas para un período de retorno de 100 años y su distribución temporal para probabilidades de ocurrencia en distribución del 10 y del 50 %, a continuación se presenta el cuadro resumen de los resultados obtenidos:

Minutos	Tr años	P_T	10%	Pd	50%	Pd
10	100	68,10	37,46	18,73	23,84	11,92
20				18,73		11,92
30			20,43	10,22	25,88	12,94
40				10,22		12,94
50			10,22	5,11	18,39	9,19
60				5,11		9,19

Figura 4. Tormenta de Diseño. (Tomada de Informe Final Producto 3)

- El estudio calculó las crecientes correspondientes al período de retorno de 100 años, para la probabilidad de ocurrencia de 10 y 50%, estas crecientes se combinaron para determinar la creciente total de entrada al humedal, la cual corresponde a la sumatoria de la creciente aportada por la cuenca tributaria y la creciente generada directamente en el área del humedal, a continuación se presenta un cuadro resumen:

Tiempo		Cuenca Distribución		Humedal Distribución		Combinado Distribución	
		50%	10%	50%	10%	50%	10%
(minutos)	(horas)	Caudal (m^3/s)	Caudal (m^3/s)	Caudal (m^3/s)	Caudal (m^3/s)	Caudal (m^3/s)	Caudal (m^3/s)
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	0,17	0,07	0,25	3,97	6,24	4,04	6,50
20	0,33	0,52	0,98	3,97	6,24	4,49	7,23
30	0,50	1,31	1,80	4,31	3,41	5,62	5,00
40	0,67	1,81	1,80	4,31	3,41	6,13	5,00
50	0,83	1,49	1,10	3,06	1,70	4,55	2,80
60	1,00	0,70	0,50	3,06	1,70	3,76	2,20
70	1,17	0,28	0,20	0,00	0,00	0,28	0,20
80	1,33	0,12	0,08	0,00	0,00	0,12	0,08
90	1,50	0,05	0,03	0,00	0,00	0,05	0,03
100	1,67	0,02	0,01	0,00	0,00	0,02	0,01
110	1,83	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
120	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Figura 5. Hidrograma de Creciente Combinada Tr. 100 años (Tomada de Informe Final Producto 3)

- *"La cota máxima extraordinaria en el humedal, se presenta para la creciente para un período de retorno de 100 años y corresponde, para el vertedero propuesto a la 2541.1 msnm, y no se limita el drenaje de los barrios aledaños."*
- *"Se concluyó que el humedal puede operar con los caudales que aportan los colectores de aguas lluvias en época de invierno; sin embargo teniendo en cuenta que en el periodo analizado se presentaron en tiempo seco de dos años niveles bastante bajos en el cuerpo de agua, se plantea en este estudio que del canal Tibanica se pueda derivar cierta cantidad de agua para suplir los posibles déficit de tiempos extremadamente secos. Las aguas ingresarán primero a un sistema de tratamiento natural, con el objeto de mejorar su calidad."*
- *"El caudal de diseño corresponde a una entrada del canal de Tibanica de 1 litro por segundo y una entrada del sector oriental de la alcantarilla existe de 1 litro por segundo. Es decir que el caudal oscila entre 1 y 2 litros por segundo de agua residual."*
- *"Se presenta una estructura de salida conformada en un muro en gavión revestido en concreto cuya parte superior se encuentra un vertedero de 1 metro de ancho y una longitud de 1.20 metros, que permite la salida de los excesos de agua, la cota del vertedero de salida varía desde 2540.90 hasta la 2541.30, a través de la colocación o retiro de tablones machihembrados de 10 cm., de altura. El retiro o colocación de los tablones depende de la época del año en que se esté atravesando para que exista un flujo normal dentro del humedal. Para épocas de verano los listones se deberán retirar y para épocas de invierno los tablones se deberán instalar."*

3. Modelación Hidrológica

La modelación hidrológica para la determinación de los hidrogramas de evaluación del humedal Tibanica se desarrolló en el software HEC-HMS de acuerdo con los requerimientos de la normatividad vigente. 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.

3.1. 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 6) 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, Pe).

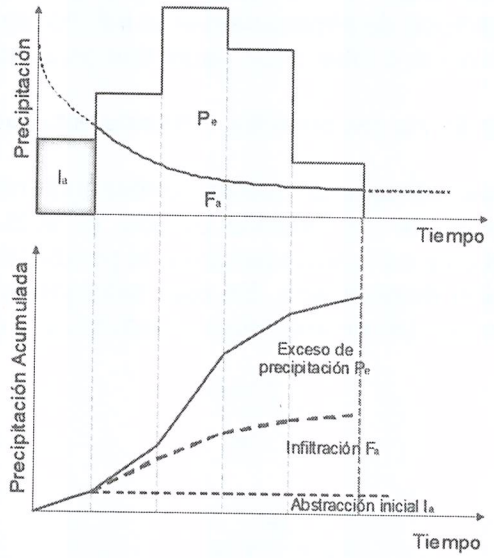


Figura 6. Método de abstracciones del SCS.

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

$$\frac{F_a}{S} = \frac{P_e}{P - I_a} \qquad \textit{Ecuación 1}$$

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,

$$P = P_e + I_a + F_a \qquad \textit{Ecuación 2}$$

Combinando las dos ecuaciones anteriores se obtiene,

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

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.

3.2. Transformación lluvia escorrentía – 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 (Tp), a partir de la siguiente ecuación:

$$Q_p = \frac{2.08A}{T_p} \qquad \textit{Ecuación 4}$$

Donde

$$T_p = \frac{tr}{2} + tp \qquad \textit{Ecuación 5}$$

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 $tr = 0.6T_c$.

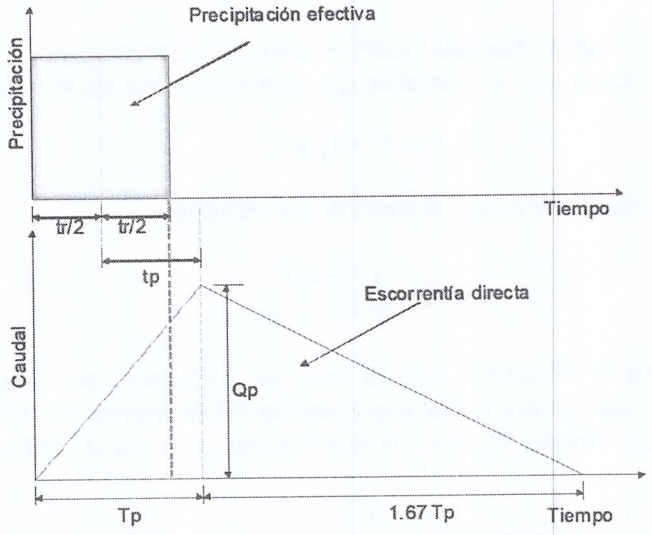


Figura 7. Esquema del Hidrograma unitario del SCS.

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

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

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.

3.3. Propiedades de la cuenca

Para la construcción del modelo hidrológico se deben introducir características y parámetros representativos de la cuenca, los cuales se describen a continuación:

3.3.1. Delimitación de la cuenca

Para la delimitación de las subcuencas aferentes al humedal Tibanica, 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 EAAB. Se identificaron cuatro (4) subcuencas que drenan hacia el humedal Tibanica, las cuales tienen un área total de 27.53 hectáreas. Estas subcuencas se muestran en la Figura 8.

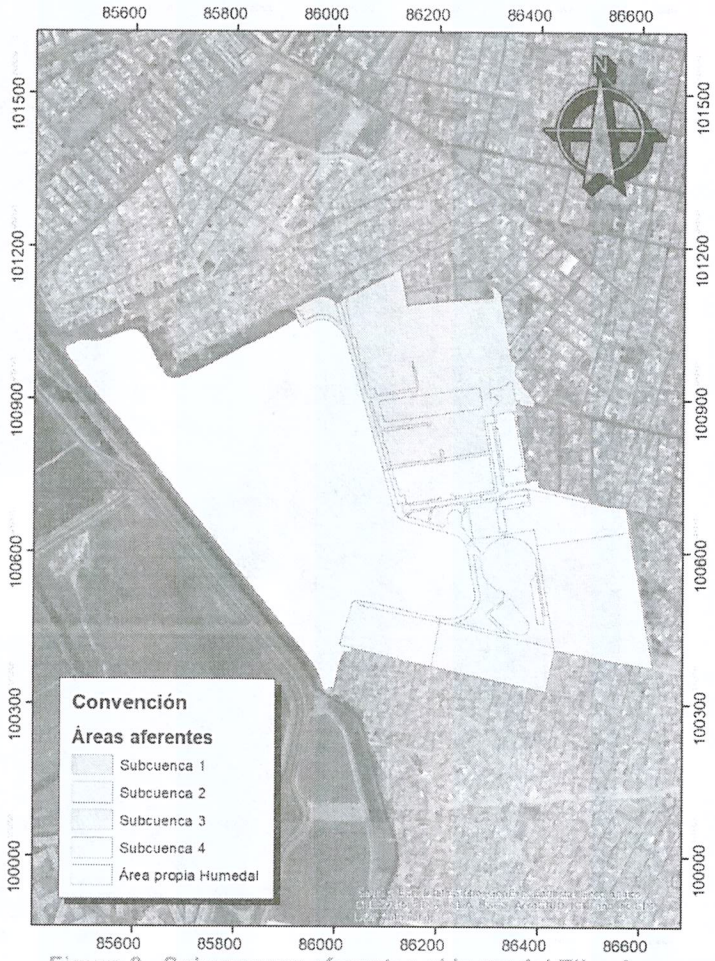


Figura 8. Subcuencas aferentes al humedal Tibanica.

3.3.2. Porcentaje de área impermeable

Para la determinación del porcentaje de área impermeable se realizó una clasificación Ráster supervisada en el programa ArcGIS utilizando una imagen satelital reciente de la cuenca. Los porcentajes estimados de área permeable e impermeable para las cuencas y subcuencas se muestran en la Tabla 1, el resultado gráfico de la clasificación realizada para la estimación de estos porcentajes se muestra en la Figura 9.

Tabla 1. Porcentaje de área impermeable cuenca de drenaje.

Subcuenca	% Impermeable	% Permeable
1	81.34	18.66
2	88.42	11.58
3	88.43	11.57
4	100	0

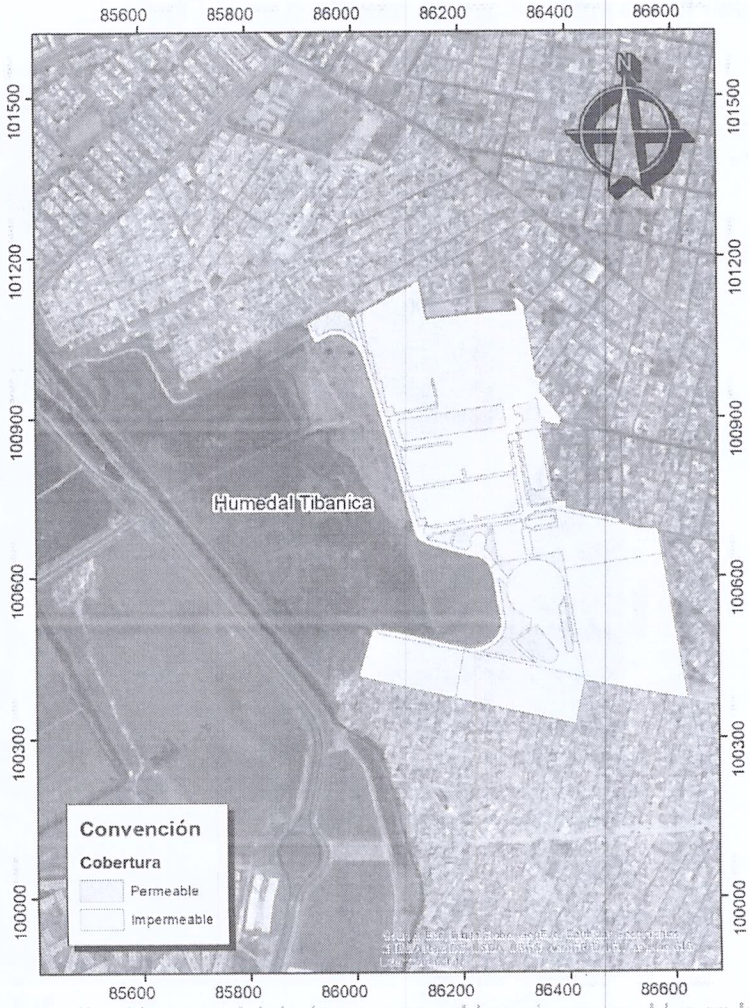


Figura 9. Distribución espacial de áreas permeables e impermeables en la cuenca.

3.3.3. Parámetro Número de Curva (CN)

La determinación del valor del parámetro Número de Curva (CN) se realizó de manera ponderada según las áreas de cada uso, tomando como referencia la clasificación ráster descrita en la sección 3.3.2. El valor adoptado de acuerdo con el área de cada uno de los usos se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Número de Curva de las subcuencas.

Subcuenca	CN
1	97.25
2	97.54
3	97.54
4	98.00

3.3.4. 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. El tiempo de rezago corresponde al 60% del tiempo de concentración.

Con base en las pendientes longitudinales de cada subcuenca, se estimaron las velocidades de entrada y con las longitudes a recorrer hasta el primer pozo de cada tramo de la red, con lo cual se calcularon los tiempos de entrada para cada caso. Luego, se calculó el tiempo de tránsito por medio de la velocidad de flujo estimada asumiendo una profundidad de flujo igual al 80% de la profundidad máxima, de acuerdo con los requerimientos de la normatividad vigente. En todos los casos, el tiempo de concentración fue inferior a 15 minutos, por lo tanto, se asumió este valor de acuerdo a lo indicado en la norma NS-085.

3.4. Tormenta de diseño

Una vez definida el área de drenaje, se determinó la curva Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) en el centroide de esta. 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 correspondiente al período de retorno de cien años se encuentra descrita por la siguiente expresión.

$$Intensidad = C_1(Duración + X_0)^{C_2}$$ Ecuación 7

Donde, los parámetros de la ecuación para el centroide de la cuenca de drenaje (coordenadas Norte: 100725.244 Este: 86096.899) son los mostrados en la Tabla 3.

Tabla 3. Curva IDF.

C_1	X_0	C_2
3721.92788	17.4	-1.02527

Con el valor de la intensidad extraído de las curvas IDF, se calculó el volumen de lluvia total a distribuir como:

$$P(mm) = I\left(\frac{mm}{h}\right) * Duración\ (6\ horas)$$ Ecuación 8

$$P(mm) = 8.49\frac{mm}{h} * 6\ horas = 50.9\ mm$$ Ecuación 9

El hietograma de diseño presentado en la Figura 11, se realizó a partir de la distribución temporal mostrada en la Figura 10, la cual fue obtenida del análisis de eventos históricos de precipitación registrados en la ciudad de Bogotá.

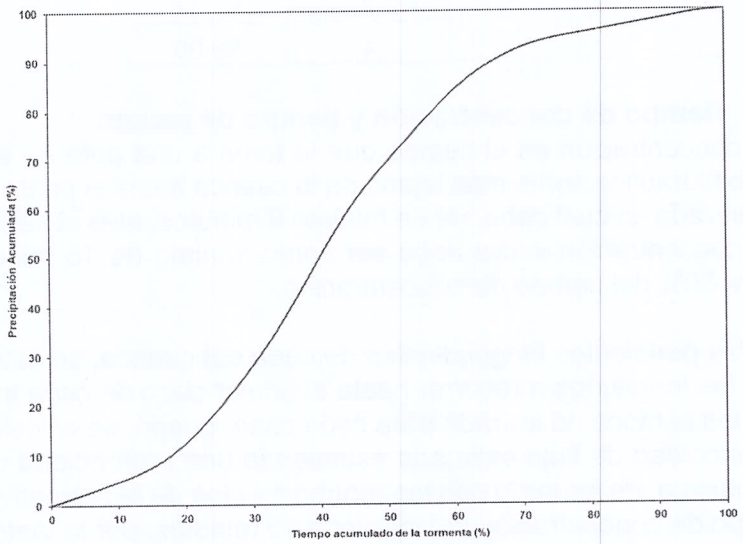


Figura 10. Distribución temporal tormentas. Duración 6 horas.

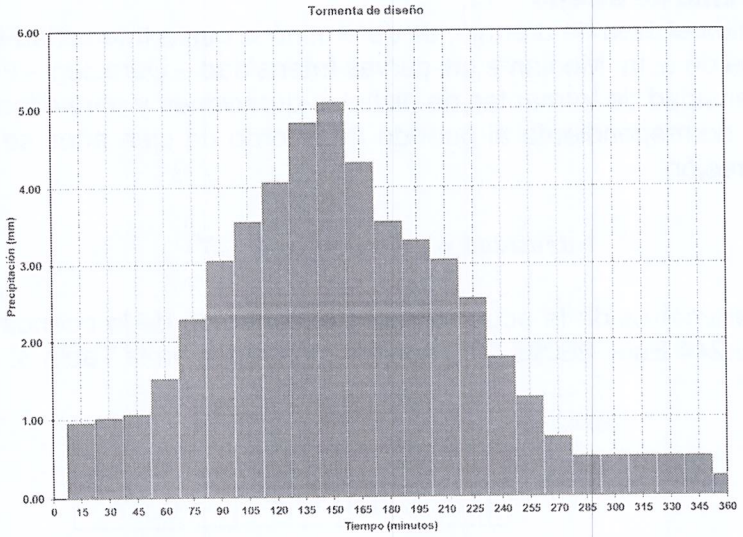


Figura 11. Hietograma de diseño. Duración 6 horas. Tr = 100 años.

3.5. Caudales de análisis

Realizada la modelación hidrológica en el programa HEC-HMS de las subcuencas aferentes al humedal Tibanica, se obtuvieron los caudales mostrados en la Figura 12.

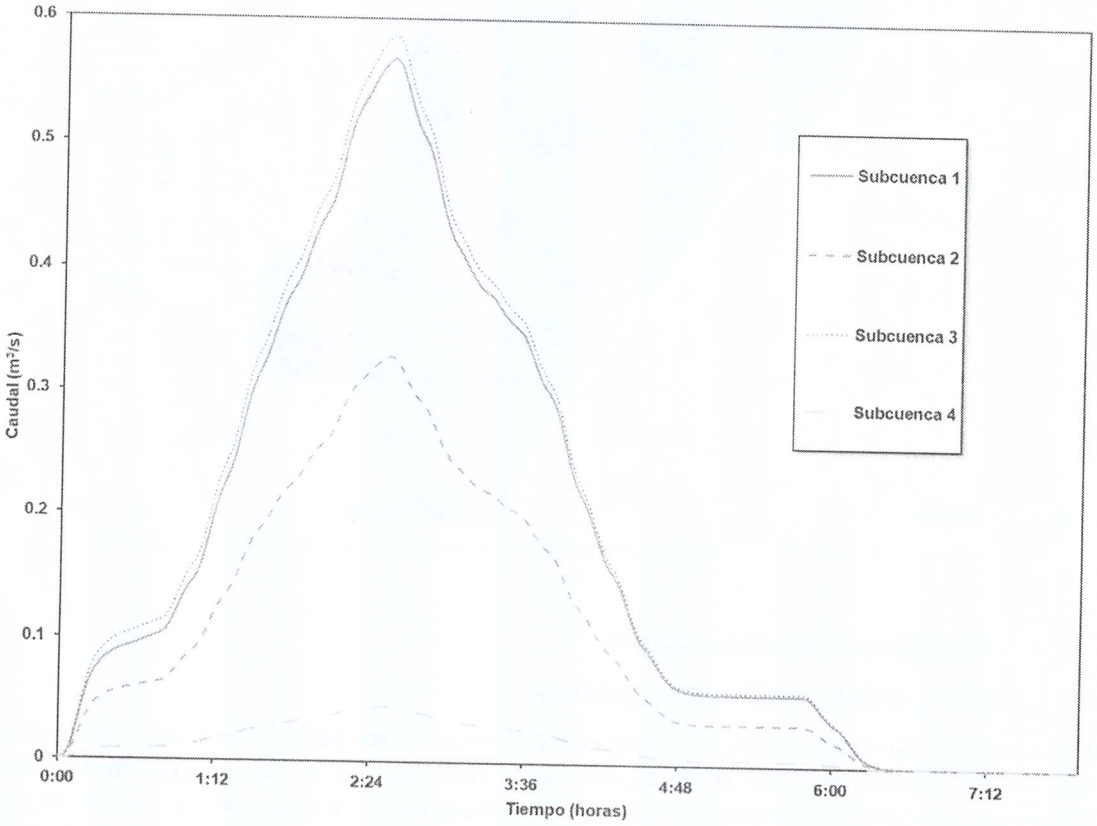


Figura 12. Caudales de las cuencas aferentes al humedal Tibanica.

4. Modelación hidráulica

Para realizar la modelación hidráulica del humedal Tibanica se construyó un modelo hidráulico bidimensional en el programa HEC-RAS versión 5.0.5. 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 Tibanica fue definido en el programa HEC-RAS mediante una malla de 10,170 celdas con un área promedio de 25.31 m^2 (ver la Figura 13).

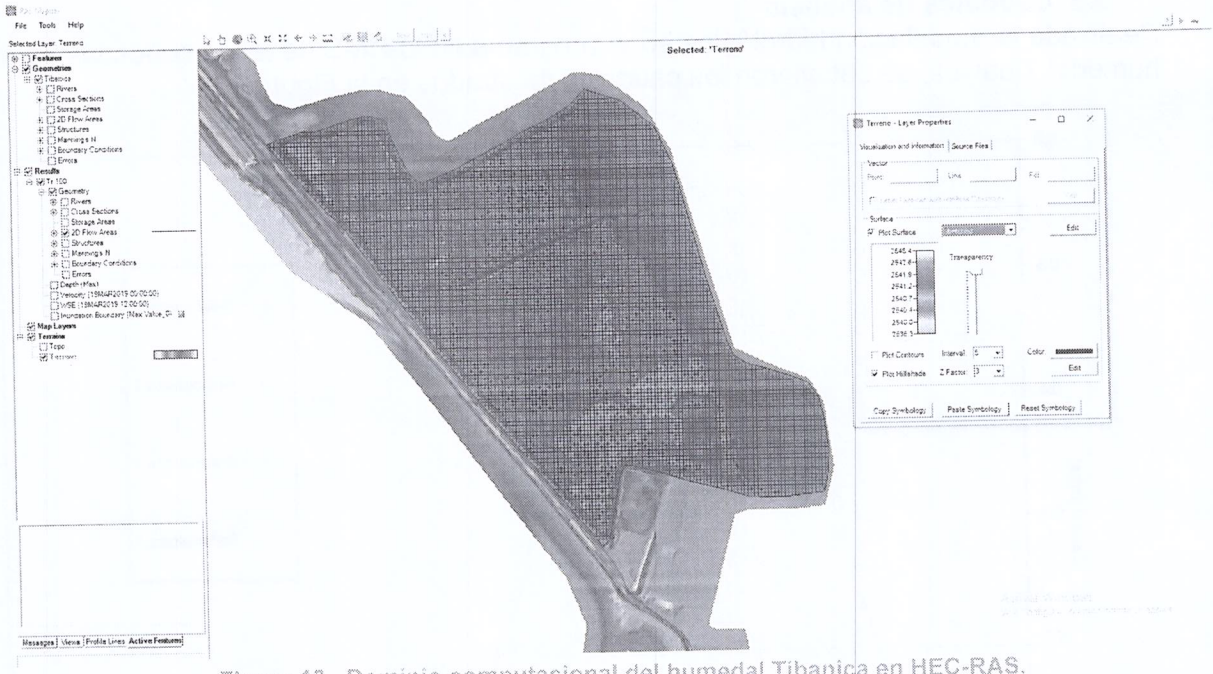


Figura 13. Dominio computacional del humedal Tibanica en HEC-RAS.

4.1. Construcción del modelo

4.1.1. Información topográfica

Para realizar la modelación hidráulica bidimensional es absolutamente esencial contar con un modelo de terreno con alto nivel de detalle y precisión. En la modelación hidráulica del humedal Tibanica, se utilizó un modelo digital de elevaciones construido a partir del levantamiento topográfico de campo adelantado en el año 2014 por parte de la Dirección de Información Técnica y Geográfica de la EAAB (DITG), la cual a su vez en el año 2018 realizó la actualización del levantamiento en algunas zonas que sufrieron movimientos de tierra posteriores al año 2014. Los detalles técnicos del levantamiento topográfico realizado por la DITG son los siguientes:

"*Para el desarrollo de este trabajo fue necesario el posicionamiento de dos puntos de apoyo identificados como GPS TIBANICA 1 y GPS TIBANICA 2, de los cuales se radiaron por medio de poligonal abierta cada uno de los elementos que conforman el humedal Tibanica. Para el levantamiento altimétrico, se trasladó la cota a partir del Bogotá 15 y por medio de nivelación geométrica determinamos la cota del GPS TIBANICA 1, rebosadero y miras utilizando el Datum Buenaventura. El levantamiento del humedal se realizó trigonométricamente a partir de los puntos de apoyo mencionados anteriormente, tomando una cuadricula aproximada de 5 m X 5 m, levantando en detalle las líneas de quiebre que conforman los cuerpos de agua, canales y la topografía del humedal*" (Dirección de Información Técnica y Geográfica de la EAAB, 2014).

Tabla 4. Vértices de apoyo levantamiento humedal Tibanica.

NOMBRE	NORTE	ESTE	COTA
GPS TIBANICA 1	100674.857	86126.625	2542.7331
GPS TIBANICA 2	100609.97	86299.846	
BOGOTA 15			2543.256

4.1.2. Caudales de análisis y parámetros del modelo

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 3.5.

Se utilizó una rugosidad uniforme de 0.06 en todo el humedal, valor que se encuentra dentro de los rangos recomendados en la norma NS-085 de la EAAB para condiciones severas de vegetación y de obstrucciones.

Como condición inicial de la modelación hidráulica se utilizó el nivel de la cresta del vertedero que corresponde a la cota 2540.98 m.s.n.m. y como condición de frontera aguas abajo se utilizó la curva de calibración teórica de esta estructura, la cual se presenta a continuación:

$$Q = C \cdot L \cdot H^{3/2}$$ Ecuación 10

Donde,

Q = Caudal (m^3/s)

C = Coeficiente del vertedero

L = Longitud de la cresta del vertedero (1.2 metros, de acuerdo con el levantamiento topográfico).

H = Profundidad de flujo por encima de la cresta del vertedero.

El coeficiente del vertedero es un parámetro agregado que incluye el coeficiente de descarga, la constante gravitacional y constantes definidas con base en las propiedades geométricas del vertedero, el cual se define de la siguiente manera:

$$C = \frac{2}{3} \cdot C_d \cdot \sqrt{2g}$$ Ecuación 11

El valor del coeficiente de descarga fue estimado utilizando la ecuación de Rehbock (Ecuación 12), asumiendo un caudal de 1.5 m^3/s que corresponde a la suma de los valores máximos de los hidrogramas de entrada estimados en la sección 3.5. En esta ecuación, P corresponde a la altura del vertedero y H a la profundidad de flujo por encima de la cresta del vertedero.

$$C_d = 0.602 + 0.083\frac{H}{P}$$ Ecuación 12

Donde,

H = Profundidad de flujo por encima de la cresta del vertedero (m)

P = Altura del vertedero (m)

Con base en las anteriores ecuaciones, se determinó un valor del coeficiente de descarga de 0.64 y del coeficiente del vertedero de 1.9, obteniéndose la curva de calibración teórica mostrada en la Figura 14.

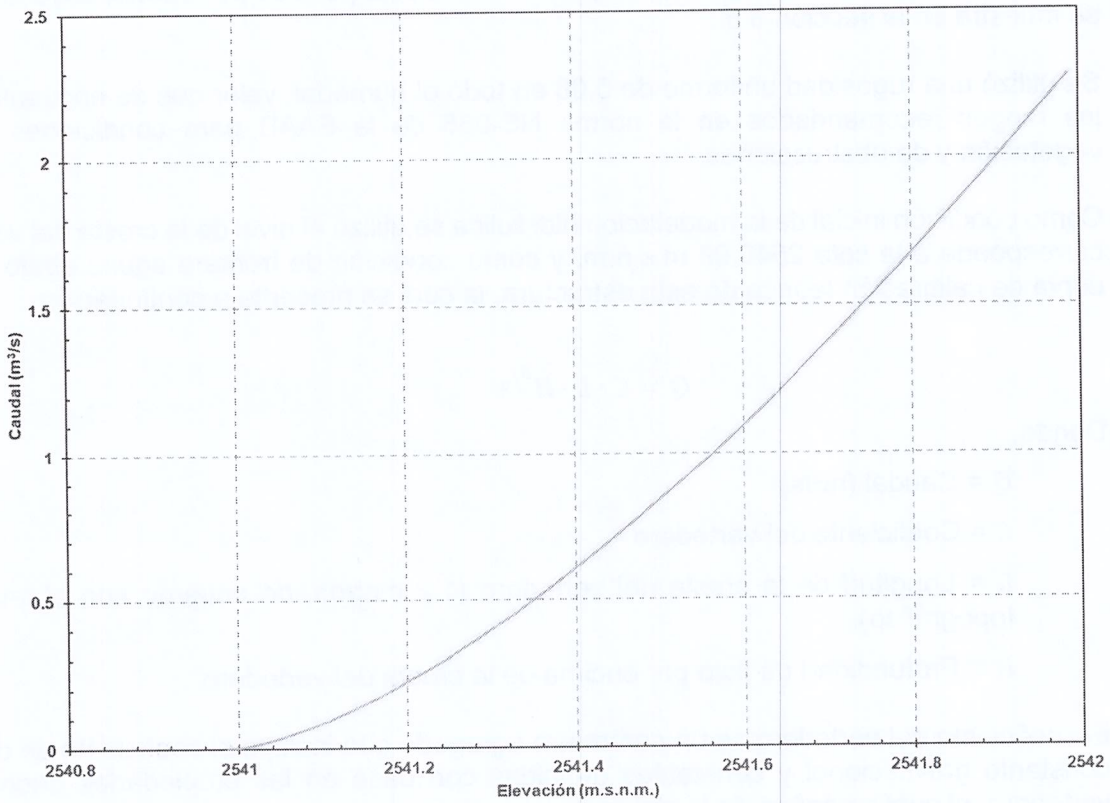


Figura 14. Curva de calibración teórica vertedero salida humedal Tibanica.

5. Resultados Obtenidos

Los resultados obtenidos al transitar los caudales correspondientes a la creciente al período de retorno de 100 años se muestran a continuación:



Figura 15. Profundidad de flujo en el humedal Tibanica. Tr 100 años.

6. Conclusiones

Se realizó la modelación hidrológica del humedal Tibanica para la creciente correspondiente al período de retorno de cien años (Tr 100), para tal fin se desarrolló un modelo lluvia escorrentía que incluyó la delimitación de las subcuencas aferentes al humedal, la determinación de la tormenta de diseño construida a partir de la curvas IDF y el análisis de las características de impermeabilidad y usos del suelo en las distintas subcuencas, lo cual permitió la obtención de los caudales de análisis.

Se realizó la modelación hidráulica del humedal mediante un modelo bidimensional desarrollado en el programa HEC-RAS, en el que se empleó un modelo digital de elevaciones construido a partir del levantamiento topográfico ejecutado por la Dirección de Información Técnica y Geográfica de la EAAB en el que se tomaron mediciones siguiendo un patrón cuadriculado de 5 metros, detallando diques, canales y demás estructuras existentes. En el modelo hidráulico el dominio computacional fue definido mediante una malla estructurada de 5 metros de lado.

Se utilizó una condición inicial en el humedal que se puede considerar como conservadora, la cual corresponde a la cota de la cresta del vertedero existente en la salida del humedal. De acuerdo con los resultados obtenidos, la elevación máxima del agua para la condición modelada sería la cota 2541.067 m.s.n.m. la cual es 3.3 cm inferior a la estimada para esta condición por Hidromecánicas Ltda. en la consultoría mediante la cual se diseñó la reconformación hidrogeomorfológica del humedal. Es importante resultar que en el mencionado estudio se contempló desviar hacia el humedal un caudal ecológico de entre 1 y 2 L/s desde la quebrada Tibanica, sin embargo, esta medida no ha sido adoptada hasta el momento a pesar de ser una de las medidas recomendadas para mitigar el déficit hídrico que presenta el humedal durante períodos secos.

Debido a la falta de mediciones no fue posible realizar la calibración del modelo hidrológico ni del modelo hidráulico, sin embargo se recomienda que, ante la disponibilidad de este tipo de información, se realice la calibración del modelo y análisis de la incertidumbre.

7. Referencias

- Dirección de Información Técnica y Geográfica de la EAAB. (2014). *Informe de levantamiento topográfico. Levantamiento planimétrico y altimétrico del humedal Tibanica.* Bogotá D.C.
- Hidromecánicas Ltda. (2006). *Adecuación hidrogeomorfológica del huemdal Tibanica.* Bogotá D.C.
- Universidad Nacional de Colombia. (2004). *Plan de Manejo Ambiental del Parque Ecológico Distrital Humedal Tibanica.* Bogotá D.C.

Cordialmente,

DIEGO GUTIÉRREZ BOHORQUEZ
Director Ingeniería Especializada

Anexo: Un (1) DVD que contiene 1) Modelo Hidrológico en HEC-HMS, 2) Modelo Hidráulico en HEC-RAS, 3) Levantamiento topográfico, DTM y estructuras, y 4) Archivos Ráster y Shape del área inundada; en 1.58 GB (116 archivos y 23 carpetas).

Copia: Dirección de Ingeniería Especializada, Consecutivo.

Revisó: Daniel Rodríguez Amaya – Profesional Especializado.

Elaboró: Fabián Luna y Fabio Amador.