

# *Análisis de crecientes en la cuenca alta del río Bogotá utilizando métodos de valoración sintética*

## */ Increasing's analysis in high basin Bogotá's river using synthetic value methods*

Felipe Guzmán Krohne<sup>1</sup>, Jorge Luis Corredor Rivera<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ingeniero civil, Universidad Militar Nueva Granada, Grupo de Investigación Visión Colombia hídrica VCH, Bogotá, Colombia. felipekrohne@hotmail.com

<sup>2</sup>Ingeniero civil, Profesor e investigador, Ingeniería Civil, Grupo de Investigación Visión Colombia hídrica VCH, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia. jorge.corredor@unimilitar.edu.co

Página  
21

ESING

Fecha de recepción: 26/08/2014 Fecha de aceptación: 06/10/2014

### Resumen

Para estudios de control de inundaciones y diseños de diferentes estructuras (puentes, bocatomas, vías, urbanizaciones entre otras), se necesita determinar los caudales máximos de una corriente relacionados a diferentes períodos de retorno. Para conocer estos valores se pueden utilizar distintos métodos o teorías que tienen como objeto analizar la ocurrencia de un aguacero, su valor representativo al generar escorrentía la cual está directamente relacionada con el aumento del caudal de un río. Este documento muestra el proceso y los resultados obtenidos en un estudio realizado en la cuenca alta del río Bogotá delimitado desde su nacimiento hasta la estación Saucio ubicada en el municipio de Chocontá en la represa "El Sisga", para la cual se aplican las metodologías de tipo sintético propuestas por Snyder y el SCS con la finalidad de establecer valores de caudales máximos.

Los resultados indican que la metodología del SCS ofrece cifras consistentes con los valores registrados, mientras que el método de Snyder se aparta sensiblemente de tales valores.

Lo anterior da lugar a sugerir que el empleo de tales metodologías debe realizarse con una alta objetividad y juicio crítico de los resultados obtenidos.

### Palabras clave

Hidrograma, periodo de retorno, precipitación, precipitación efectiva.

### Abstract

For studies of flood control and design of different structures (bridges, intake, roads, urbanizations, among others) the determination of maximum upstream of the current related to return periods is needed. To know these values, different methods or theories may be used, having as a purpose to analyze the occurrence of a downpour, its value and representative when generating drainage which is directly related to the increase of the river upstream. This document shows the process and the findings in a study made in the high basin of Bogotá's river limited from their source until the Saucio sta-

Para citar este artículo / To cite this article

F. Guzmán, J. Corredor. Análisis de crecientes en la cuenca alta del Río Bogotá utilizando métodos de valoración sintética. Revista Ingenieros Militares, No.9, pp. 21-29. 2014.

tion located in the Chocontá municipality in the Reservoir “El Sisga”, for which the synthetic type methods proposed by Snyder and the SCS are applied to determine maximum flows.

Results indicate that the SCS methodology provides results that are consistent with the recorded values, while Snyder’s method is far from said values. This result leads to suggest that the use of such methodologies should be made with high objectivity and critical judgment of the obtained results.

## Keywords

Hydrograph, return period, precipitation, effective precipitation.

## Introducción

El río Bogotá es la arteria y eje principal del sistema hídrico de la ciudad que lleva este nombre y de su sabana que es atravesada por este cauce. A este río se le debe principalmente el abastecimiento de los acueductos de las poblaciones aledañas y de la ciudad de Bogotá. Las actividades que se desarrollan alrededor de la cuenca del río Bogotá son del 25%, aproximadamente, del total a nivel nacional donde se destacan las producciones agrícolas e industriales [1].

En la medida que las ciudades y centros poblados vecinos a este cauce han crecido en extensión y población, se han venido presentado afectaciones debido a inundaciones; si se tiene en cuenta que la forma de urbanización en las zonas inmediatamente aledañas al río, producto del cambio de los usos del suelo, no ha sido adecuadamente planificada. Debido a esto se han cambiado las características naturales propias del sistema hídrico, como el aumento en la recepción de aguas domésticas y de aguas lluvias incrementando el caudal propio del río.

Las organizaciones privadas como públicas que manejan y controlan la información y el uso del recurso hídrico como tal, no han intervenido oportunamente con actualizaciones en estudios, ni con información que ayuden a prevenir

las dificultades que conlleva una creciente en épocas de invierno. Con la problemática social y ambiental que se vivió en los años 2009, 2010 y 2011 cuando se presentaron grandes inundaciones, con efectos de altas proporciones en extensas zonas de la Sabana de Bogotá, que abocaron a que las entidades gubernamentales recuperaran su interés en esta problemática.

Para la cuenca del río Bogotá, en especial en la parte alta, no existen suficientes estudios que ofrezcan información actualizada sobre la aplicación de modelos probabilísticos hidrológicos, que describan el comportamiento del río con relación a las variables hidrológicas que lo afectan. En [2] se emplean los datos históricos de precipitación hasta 1996 y estudia la parte de la cuenca del río Bogotá que se encuentra en del municipio de Villapinzón.

El presente documento expone los resultados obtenidos en la aplicación de los hidrogramas del método propuesto por Snyder y del Método del Servicio de Conservación de Suelos para obtener los valores de caudal de una creciente, con el fin de ofrecer un estudio que apoye la disponibilidad de información que oriente medidas de prevención ante inundaciones para disponer de criterios al establecer medidas que generen bienestar dentro de los marcos sociales, ambientales y de progreso en infraestructura hidráulica de la zona. El estudio se elabora para la cuenca alta del río Bogotá, delimitado específicamente desde su nacimiento en el páramo de Guacheneque en el municipio de Villapinzón, Cundinamarca hasta la estación hidrométrica Saucio que se encuentra aguas arriba del Embalse del Sisga ubicado en el municipio de Chocontá, Cundinamarca. Se pretende entonces determinar, a través de las metodologías que estiman crecientes en las cuencas, los valores de los caudales del río para diferentes períodos de retorno.

## Metodología

A continuación se hace una descripción de la metodología utilizada en el desarrollo de este trabajo, que consistió en:

### Recopilación de información

Se contó con la colaboración de distintas entidades que trabajan con datos hidrometeorológicos de la zona (IGAC, CAR, EAAB, IDEAM). [3]. Esta información sirvió para establecer estudios previos sobre la problemática a tratar, cartografía disponible, caracterización de la cuenca de estudio, análisis y validación de la información, determinación de los modelos por aplicar, aplicación de los métodos y análisis y comparación de resultados.

### Métodos de estimación de crecientes a aplicar

A continuación se describe en forma resumida el enfoque teórico de las metodologías empleadas.

Hidrograma Snyder. El hidrograma unitario de Snyder se dedujo a partir del estudio que realizó este hacia finales de los años 30, cuando se analizaron varias cuencas del este de EEUU, las cuales variaban entre 30 km<sup>2</sup> a 30,000 km<sup>2</sup>. Snyder dedujo a partir de las características morfológicas de las de las cuencas estudiadas ecuaciones para la determinación de hidrogramas, posteriormente hacia el año 1959 el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos (U.S. Army Corps of Engineers) confirmó que los estudios acerca del hidrograma hechos por Snyder eran lógicos y corresponden racionalmente a las tipologías de las cuencas para las que se le aplica el modelo.

El hidrograma unitario estándar de Snyder considera la duración de lluvia ( $t_r$ ) la cual está directamente relacionada con el tiempo de retardo de cuenca ( $t_p$ ) como se muestra en la ecuación (1) [4].

$$t_p = 5.5 t_r \quad (1)$$

Donde:

$t_p$  = retardo de cuenca  
 $t_r$  = duración de lluvia

Para calcular el tiempo de retardo del hidrograma, Snyder propone la siguiente fórmula:

$$t_p = 0.75 C_t (L * L_c)^{0.3} \quad (2)$$

Donde:

$L$  = longitud de la corriente principal del río, desde la estación de aforos al punto más alejado de la cuenca

$L_c$  = distancia entre la estación de salida y el centro de gravedad de la cuenca, medida sobre el cauce principal

$C_t$  = coeficiente de retardo de Snyder

$t_p$  = retardo de cuenca

Conocido el tiempo de retardo ( $t_p$ ) se puede calcular la duración de la lluvia unitaria ( $t_r$ ):

El caudal pico en m<sup>3</sup>/s \* km<sup>2</sup> del hidrograma unitario:

$$q_p = \frac{(7 * C_p * A)}{t_p} \quad (3)$$

Donde:

$T_p$  = tiempo de retardo

$A$  = área de la cuenca de estudio

$C_p$  = coeficiente basado en cuencas instrumentadas en la misma región

Hidrograma del servicio de conservación de suelos. El hidrograma desarrollado por el Servicio de Conservación de Suelos es ampliamente conocido por la simplicidad en su aplicación, se ajusta a cuencas urbanas y semiurbanas, interesándose básicamente en el uso del suelo, considerando que esta variable influye directamente sobre los valores de escurrimiento directo que hay sobre la cuenca.

Este modelo detalla características de la intervención del proceso de infiltración durante un aguacero y propone coeficientes de infiltración según el tipo y uso del suelo, afirmando que existen ciertas precipitaciones que no afectan en los cambios de las cantidades de agua dentro una creciente, porque estas son totalmente absorbidas por el suelo.

Este hidrograma está dividido en dos partes, en la primera, el hidrograma realiza una evaluación del valor que tiene la escorrentía directa

que resulta de una precipitación dentro de la cuenca. En la segunda fase se determina el tiempo de distribución del escurrimiento, donde se halla el caudal máximo [5].

El caudal máximo se determina con la siguiente ecuación:

$$Q_p = \frac{2Q}{(T_p + T_R)} \quad (4)$$

Donde:

$Q_p$  = caudal máximo o pico;

$Q$  = volumen de escurrimiento directo (mm)

$T_p$  = período de elevación o tiempo hasta el caudal pico;

$T_R$  = tiempo desde el caudal pico hasta el final del escurrimiento directo-recesión

A partir del análisis de varios hidrogramas de distintas cuencas, el Servicio de Conservación de Suelos llegó a concluir que el valor del tiempo desde el caudal pico hasta el final del escurrimiento directo-recesión es  $1,67T_p$  por lo tanto la ecuación anterior queda:

$$Q_p = 0.75 \frac{Q}{T_p} \quad (5)$$

Observando los aportes por  $\text{km}^2$  de escurrimiento directo dentro de la cuenca es necesario determinar el caudal de punto introduciendo la variable de tiempo de elevación.

$$q_p = 0.208 \frac{(A \cdot Q)}{T_p} \quad (6)$$

Este modelo propone un valor de tiempo unitario.

$$T_u = \frac{T_p}{4} \quad (7)$$

El periodo de elevación puede determinarse a partir del tiempo de concentración según la siguiente ecuación.

$$T_p = 0.7 \cdot T_c \quad (8)$$

Donde:

$T_c$  = tiempo de concentración.

$$T_c = \left[ \frac{11.9 \cdot L^3}{H} \right] 0.385 \quad (9)$$

Donde:

$L$  = longitud de curso de agua más largo (en millas)

$H$  = diferencia de elevación (en pies)

## Resultados

Con base en el análisis de la información recopilada y la aplicación de las metodologías anteriormente mencionadas, se presenta a continuación la descripción de los resultados obtenidos.

### Caracterización de la morfología de la cuenca de estudio

A partir de la cartografía obtenida del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), se digitalizó el área de influencia de la cuenca en estudio (Figura 1), obteniéndose sus características morfológicas, como: divisoria de aguas, cauce principal y sus afluentes, curvas de nivel entre otras, con los resultados que se relaciona en la Tabla 1. [6], [7], [4].



**Figura 1.** Delimitación área de estudio Cuenca alta río Bogotá (Villapinzón-Chocontá)  
Fuente planchas IGAC escala 1:10.000

Tabla 1. Morfología de la cuenca

VARIABLE	UNID	VALOR
Area (A)	km <sup>2</sup>	274.94
Perímetro (P)	km	73.97
Longitud del cauce principal (L)	km	40.30
Longitud axial de la cuenca	km	24.60
Ancho (W)	km	6.82
Ancho promedio (Wp)	km	11.06
Índice de forma (Ip)	km/km	0.27
Índice de compacidad (Kc)		1.24
Densidad de drenaje (Dd)	km/km <sup>2</sup>	0.14
Pendiente del cauce principal (S)	%	19.54
Número de orden		6

### Estudio de la precipitación máxima 24 horas y su valor efectivo en la cuenca

Para realizar el estudio de la precipitación máxima es necesario identificar la mayor cantidad de estaciones con registros de precipitación que se encuentren en la cuenca en estudio o en sus proximidades. Se seleccionaron 24 estaciones de las cuales 17 son operadas por el IDEAM y 7 por la CAR.

En la Tabla 2 se relacionan las estaciones utilizadas, las cuales tienen información suficiente para realizar la evaluación de escorrentía directa.

Tabla 2. Relación de estaciones. Fuente IDEAM, CAR.

N	CODIGO	NOMBRE	TIPO	LAT	LONG	ELEV	PERIODO
1	2120548	IBERIA LA	CP	5.03	-73.71	2760	1961-2012
2	2120632	FORTUNA LA	CO	5.28	-73.6	2880	1963-2012
3	2120659	REPRESA SISGA	CO	5.08	-73.73	2675	1939-2012
4	2120719	SAUCIO	RN	5.1	-73.7	2618	1971-2012
5	2120815	VILLAPINZON	PM	5.20	-73.60	2700	1959-2012
6	2401030	HATILLO EL	PM	5.16	-73.80	2885	1960-2012
7	2401039	TRIANGULO EL	PG	5.30	-73.61	2800	1963-2012
8	21200160	PANONIA	PM	5.05	-73.73	2800	1985-2012
9	21200620	PISCIS	PM	5.06	-73.68	2820	1985-2012
10	21201640	VILLAPINZON GJA	PG	5.25	-73.58	2745	1987-2011
11	21201650	STA ROSITA	PM	5.10	-73.75	2750	1988-2012
12	21205740	SILOS	CO	5.11	-73.70	2709	1974-2012
13	21206010	LORETOKI HDA	ME	5.11	-73.70	2550	1983-2012
14	24010070	LETICIA	PM	5.30	-73.70	2650	1974-2012
15	24010140	CUCUNUBA	PM	5.25	-73.76	2620	1958-2012
16	24010170	GUACHETA	PM	5.38	-73.68	2690	1958-2012
17	35070020	VENTAQUEMADA	PM	5.36	-73.51	2630	1935-2012
18	35070030	TURMEQUE	PM	5.31	-73.31	2400	1957-2012
19	35070040	TIBANA	PM	5.30	-73.38	2115	1958-2012
20	35070050	UMBITA	PM	5.21	-73.43	2300	1956-2012
21	35070070	CHINAVITA	PM	5.15	-73.35	1900	1955-2012
22	35070210	PACHAVITA	PM	5.13	-73.38	2160	1976-2012
23	35070230	MACHETA GJA AGROP	PG	5.06	-73.56	1815	1980-2012
24	35070490	HATO GRANDE HAD	PG	5.95	-73.58	2346	1982-2012

Con base en la información pluviométrica recopilada para las estaciones seleccionadas, se determinó el valor de la precipitación máxima en 24 horas utilizando el método de Gumbel descrito anteriormente, para periodos de retorno de 2.33, 5, 10, 25, 50, 100 y 200 años, cuyos resultados se presentan en la Tabla 3. [8-12].

Tabla 3. Precipitación máxima en 24h. Fuente IDEAM, CAR

N	CODIGO	NOMBRE	Tr233	Tr5	Tr 10	Tr 25	Tr 50	Tr 100	Tr 200
1	2120548	IBERIA LA	31.5	37.9	43.0	49.5	54.4	59.2	63.9
2	2120632	FORTUNA LA	34.5	41.2	46.7	53.5	58.6	63.7	68.8
3	2120659	REPRESA SISGA	35.5	43.8	50.6	59.1	65.5	71.8	78.1
4	2120719	SAUCIO	34.9	47.5	57.7	70.7	80.3	89.8	99.3
5	2120815	VILLAPINZON	15.3	34.3	49.8	69.3	83.9	98.3	112.6
6	2401030	HATILLO EL	35.9	42.6	48.1	55.0	60.1	65.2	70.2
7	2401039	TRIANGULO EL	39.8	50.4	59.0	70.0	78.1	86.1	94.1
8	21200160	PANONIA	38.9	47.3	54.2	62.9	69.3	75.7	82.1
9	21200620	PISCIS	40.3	49.1	56.2	65.2	71.9	78.5	85.1
10	21201640	VILLAPINZON GJA	36.8	42.4	46.9	52.7	56.9	61.2	65.4
11	21201650	STA ROSITA	41.9	50.5	57.5	66.3	72.8	79.3	85.8
12	21205740	SILOS	32.8	39.4	44.8	51.6	56.7	61.7	66.7
13	21206010	LORETOKI HDA	30.4	39.6	47.2	56.8	63.9	70.9	77.9
14	24010070	LETICIA	44.2	55.1	64.0	75.3	83.6	91.9	100.1
15	24010140	CUCUNUBA	42.5	51.3	58.6	67.7	74.5	81.2	87.9
16	24010170	GUACHETA	44.8	51.6	57.1	64.1	69.3	74.4	79.6
17	35070020	VENTAQUEMADA	121.1	133.5	143.6	156.4	165.9	175.3	184.7
18	35070030	TURMEQUE	38.1	53.8	66.5	82.6	94.5	106.4	118.2
19	35070040	TIBANA	38.2	54.4	67.5	84.2	96.5	108.7	120.9
20	35070050	UMBITA	34.5	41.9	47.9	55.5	61.1	66.8	72.3
21	35070070	CHINAVITA	56.9	112.4	157.6	214.7	257.1	299.2	341.1
22	35070210	PACHAVITA	49.7	65.1	77.6	93.5	105.3	116.9	128.6
23	35070230	MACHETA GJA AGRO	39.6	47.1	53.2	60.9	66.6	72.3	77.9
24	35070490	HATO GRANDE HAD	48.5	55.6	61.3	68.5	73.9	79.2	84.5

A partir de la información puntual obtenida para cada estación mediante la aplicación del método IDW (Inverse Distance Weighted) disponible en ARC Gis versión 10.2.1, se estableció la distribución espacial de la precipitación máxima en 24 horas para los periodos de retorno calculados [13], con los resultados que se muestran en las figuras 2 a 8.

### Precipitación efectiva (P<sub>e</sub>)

Para el cálculo de la precipitación efectiva se utilizó el procedimiento desarrollado por el Soil Conservation Service – SCS, conocido como la Teoría del Número de Curva (CN), el cual tiene en cuenta: la precipitación, (en este caso la precipitación máxima en 24 horas para diferentes periodos de retorno) para fijar la condición de humedad antecedente, el tipo de suelo y el uso y cobertura vegetal del suelo; para establecer la interrelación de estas variables se fija un número de curva (CN) que permite establecer el potencial de escorrentía.

La condición de humedad antecedente está dada por el valor de la precipitación acumulada en los cinco días anteriores al valor máximo, según el cual se determina si la época del año para la cual se calcula la creciente corresponde a una Condición I (estiaje), Condición II (condición promedio) o Condición III (mayor pluviosidad). Este valor se determinó con base en la información sobre precipitación diaria disponible para las estaciones seleccionadas.

El tipo de suelo fue obtenido del estudio de suelos realizado para Cundinamarca por el IGAC (2000).

El uso del suelo y cobertura vegetal fueron obtenidos del Plan de Ordenamiento Territorial (POT) del municipio de Villapinzón en el cual se determina el uso de suelo urbano y rural y las propuestas de ordenamiento para el mismo fin.

Para la cuenca alta del río Bogotá se establecieron los valores de CN que se indican en la Tabla 4.

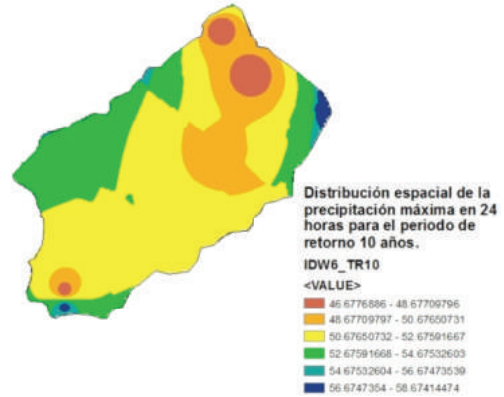


Figura 4. Periodo de retorno 10 años.

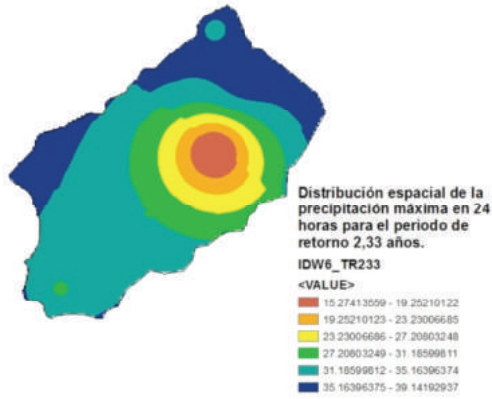


Figura 2. Periodo de retorno 2.33 años.

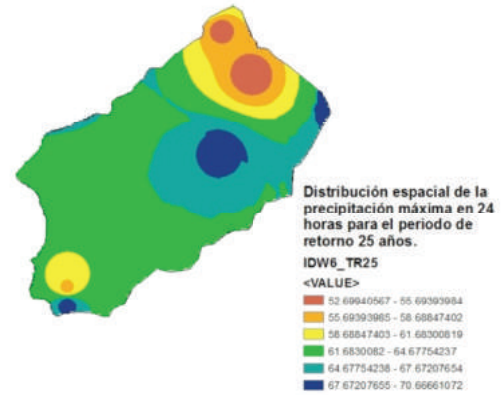


Figura 5. Periodo de retorno 25 años

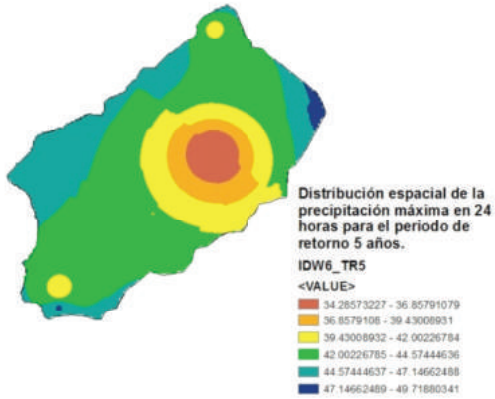


Figura 3. Periodo de retorno 5 años

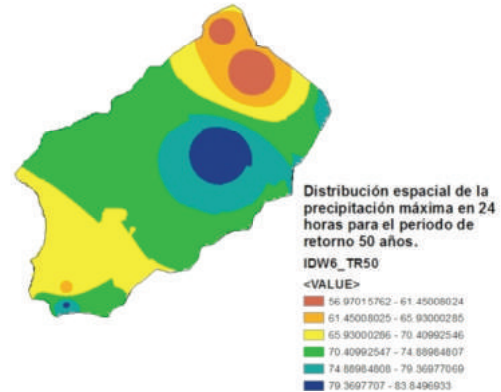


Figura 6. Periodo de retorno 50 años

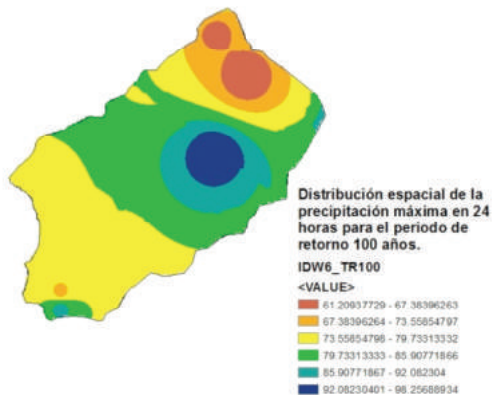


Figura 7. Periodo de retorno 100 años

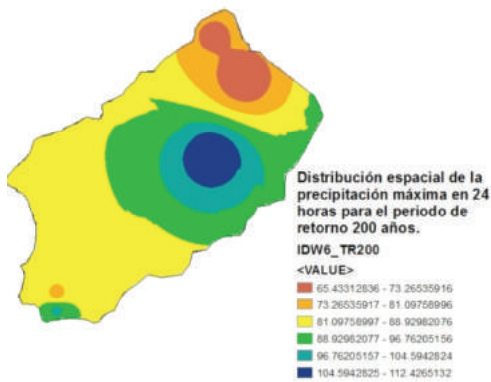


Figura 8. Periodo de retorno 200

Tabla 4. Valores del CN (SCS). Fuente [14].

N	Tipo	Porcentaje	CN (II)	Producto
1	Cultivos	40	88	3520
2	Urbanismo	8	90	720
3	Bosque	35	77	2695
4	Pastizal	17	86	1462
		100		8397

Partiendo de estos valores se obtiene el valor de CN y S, los cuales tienen un valor en este caso de:

$$CN=84 \quad S=48.38$$

Para el cálculo de la escorrentía directa se utiliza la ecuación (10) [15].

$$P_e = \frac{(P - 0.2 * S)^2}{(P+0.8*S)} \quad (10)$$

Donde:

$P_e$ : Es la escorrentía directa en milímetros.

$P$ : Es la precipitación máxima considerada en milímetros.

$S$ : Es la diferencia potencial máxima entre P y Q a la hora que se inicia la tormenta y representa proporcionalmente la pérdida de escorrentía por infiltración, intercepción y almacenamiento superficial.

Los resultados obtenidos se indican en la Tabla 5.

#### Aplicación de los modelos de Snyder y del SCS

A partir de los valores de precipitación efectiva se procede a aplicar los hidrogramas de Snyder y del Soil Conservation Service – SCS.

Para el caudal máximo según hidrograma Snyder, en la tabla 6 se incluyen los resultados obtenidos. Con relación al Caudal máximo según SCS, en la Tabla 7 se muestran los resultados para la aplicación de este método.

Tabla 5. Valores de precipitación efectiva para diferentes periodos de retorno

Tr (años)	Pe-24h (mm)
2.33	13.51
5	21.39
10	28.69
25	38.49
50	46.06
100	53.78
200	61.64

Tabla 6. Caudales máximos según Snyder

Tr (años)	Q (m³/s)	Tr (años)	Q (m³/s)
2.33	89.67	50	305.63
5	141.93	100	356.87
10	190.35	200	409.00
25	255.40		

Tabla 7. Caudales máximos según SCS

Tr (años)	Q (m³/s)	Tr (años)	Q (m³/s)
2.33	57.62	50	196.45
5	91.23	100	229.37
10	122.36	200	262.90
25	164.16		

En la Tabla 8 se relacionan los valores de caudal máximo registrados en la Estación Saucio localizada en el límite de la cuenca alta del río Bogotá, para el periodo 1970 a 2011.

Observando los resultados de los caudales máximos que son obtenidos a partir del cálculo de los hidrogramas de Snyder y del SCS se puede afirmar que el hidrograma de Snyder muestra valores mucho más altos que el del SCS y cercanos al doble de los registros históricos, el modelo utilizado por el SCS ofrece resultados más consistentes en comparación los valores registrados en la estación Saucio, donde el caudal máximo que se alcanzó en esta estación fue de 68.14 m³/s en el mes de mayo de 2011, época en la que se vivió un fuerte invierno en el país y en la zona de estudio [16]-[17].

Tabla 8. Caudales máximos-Estación Saucio

Fecha	Q (m³/s)	Fecha	Q (m³/s)
may-11	68.14	oct-79	42.84
jun-76	61.95	jul-78	42.16
jul-72	44.28	jun-78	41.31
may-71	44.22	may-76	40.45
jul-97	43.57		

## Conclusiones

El hidrograma de Snyder arroja resultados algo por fuera de lo común en comparación a los registros históricos.

El hidrograma del Soil Conservation Service–SCS es un modelo más sencillo y objetivo al realizar el cálculo, porque este tiene en cuenta de forma directa las variables como precipitación efectiva, áreas y tiempo de concentración las cuales afectan el aumento del caudal dentro del río.

Por lo anterior, se puede concluir que las metodologías de tipo sintético, como las aplicadas en este caso, deben ser utilizadas en forma objetiva, comparando los resultados obtenidos con los registros históricos o mediante la aplicación de una metodología alterna que permita discernir la calidad de los resultados y la selección de aquellos que se ajusten de una manera más adecuada a las condiciones regionales de una cuenca en particular, más aún cuando estas metodologías han sido establecidas empíricamente con base en información que no corresponde al entorno colombiano.

En general se puede sugerir que las entidades públicas y privadas relacionadas con la administración y aprovechamiento de los recursos hídricos mantengan en sus criterios de evaluación hidrometeorológica las restricciones que se deben tener en cuenta al aplicar una u otra metodología de tipo sintético en evaluación de eventos máximos.

## Referencias

- [1] J. E. Canon .B. “*Caracterización Hidrológica de la Cuenca Alta del Río Bogotá (Sector de Villapinzón)*”. Tesis de Maestría. Universidad Nacional. 1998.
- [2] Revista Semana, 2010, marzo de 25. Río Bogotá: más planes que resultados, Revista Semana. [Online]. <http://www.semana.com/nacion/medio-ambiente/articulo/rio-bogota-mas-planes-resultados/114803-3>.

- [3] S. G. Monsalve. "Hidrología en la Ingeniería." Escuela Colombiana de Ingeniería, 1995.
- [4] Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje, Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2012.
- [5] Soil Conservation Service Hidrology, SCS National Engineering Hand Book, US Department of Agriculture, 1972.
- [6] R.K. Linsley, M.A. Kohler, J.H. Paulus, *Hidrología para Ingenieros*, McGraw-Hill. 1975.
- [7] F. J. Aparicio. *Fundamentos de Hidrología de Superficie*, México, D.F. Limusa S.A. de C.V., 1996.
- [8] V. T. Chow, D. R. Maidment, L. W. Mays. *Hidrología Aplicada*, McGraw-Hill, 1994.
- [9] G.W. Kite. *Frequency and Risk Analyses in Hydrology*. Water Resources Publications, 1988.
- [10] E. J. Gumbel. "Multivariate Extremal Distributions." *Bull Internat Statics*, 1960.
- [11] A. S. Ibáñez, R. H. Moreno, B. J. M. Gisbert. "Estima de Precipitaciones Máximas por el Método de Gumbell." Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural, 2011.
- [12] M. M. M. Montero. "Estimación de la Precipitación Máxima Probable en una Cuenca Hidrográfica como Parámetro de Riesgo." Universidad Complutense de Madrid, 1996.
- [13] Software SIG ArcGis, AYUDA IDW, <http://help.arcgis.com/es/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/009z0000006m000000>
- [14] Plan de Ordenamiento Territorial, Alcaldía Villapinzón, 2006.
- [15] Manual Efecto de la Precipitación Efectiva en la Tormenta. C. F. Jipson, F. V. Oñate. Universidad Técnica Particular de Loja, 2010.
- [16] S. O. Mesa, H. B. Botero. "Errores Detectados al Estimar Escorrentía Directa, Mediante Algunos Métodos de Hidrogramas Unitarios." Universidad Nacional de Colombia, 2001.
- [17] S. Mejía. "Análisis y comparación de fórmulas empíricas para estimar la precipitación efectiva a partir de un modelo de balance." Colegio de Postgraduados. Montecillo, 2002.