

**MODELACIÓN HIDROLÓGICA DEL RÍO SAN FRANCISCO EN LA CUENCA  
ABASTECEDORA AL EMBALSE EL SISGA EN EL MUNICIPIO DE CHOCONTÁ,  
CUNDINAMARCA**

**ADRIANA CAROLINA SALINAS TALERO**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN EN RECURSOS HÍDRICOS**

**BOGOTÁ D.C – 2017**

**MODELACIÓN HIDROLÓGICA DEL RÍO SAN FRANCISCO EN LA CUENCA  
ABASTECEDORA AL EMBALSE EL SISGA EN EL MUNICIPIO DE CHOCONTÁ,  
CUNDINAMARCA**

**ADRIANA CAROLINA SALINAS TALERO**

**Trabajo de grado para obtener el título de especialista en Recursos Hídricos.**

**ASESOR: JORGE ALBERTO VALERO FANDIÑO**

**INGENIERO CIVIL, MSC.**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN EN RECURSOS HÍDRICOS**

**BOGOTÁ D.C - 2017**



## Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:  
**Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)**

Para leer el texto completo de la licencia, visita:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

### Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra

hacer obras derivadas

### Bajo las condiciones siguientes:



**Atribución** — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



**No Comercial** — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.

## **Agradecimientos**

A Jehová Dios por regalarnos tan magnífica creación, la tierra, para explorarla, estudiarla, cuidarla y conservarla.

A mi esposo, mis padres, mis hermanos y mi sobrina por su apoyo y paciencia incondicional. A mis compañeros y amigos de labor por su tiempo.

A mi asesor de proyecto por su interés genuino en mi crecimiento profesional y apoyo técnico en el desarrollo de este trabajo. A mis compañeros de especialización por sus aportes y colaboración durante el proceso.

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	9
1 GENERALIDADES DEL TRABAJO DE GRADO .....	10
1.1 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN .....	10
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	10
1.2.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA .....	10
1.2.2 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.....	10
1.3 JUSTIFICACIÓN .....	10
1.4 OBJETIVOS .....	11
1.4.1. <i>Objetivo general</i> .....	11
1.2.2. <i>Objetivos específicos</i> .....	11
2 MARCOS DE REFERENCIA .....	12
2.1 MARCO GEOGRÁFICO .....	12
2.2 MARCO TEÓRICO.....	13
3 METODOLOGÍA.....	15
3.1. DELIMITACIÓN DE CUENCA Y UBICACIÓN DE ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS DE INFLUENCIA ....	15
3.2. ANÁLISIS Y TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN DISPONIBLE DE PRECIPITACIÓN. ....	16
3.3. ANÁLISIS DE USO Y TIPO DE SUELO PARA OBTENCIÓN DE CN .....	16
3.4. OBTENCIÓN DE IDF S APROXIMADAS Y HIETOGRAMAS DE DISEÑO .....	16
3.5. MODELACIÓN HEC-HMS .....	16
4 ANALISIS DE RESULTADOS .....	17
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	30
BIBLIOGRAFÍA.....	32
APÉNDICES .....	33
ANEXOS.....	34

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2-1 MARCOS DE REFERENCIA. FUENTE PROPIA. ....	12
FIGURA 3-1 METODOLOGÍA DESARROLLADA. FUENTE PROPIA.....	15
FIGURA 3-2 UBICACIÓN DE LA CUENCA DE ESTUDIO Y ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS .....	16
FIGURA 4-1 TIPO DE SUELOS DE LA MICROCUENCA RÍO SAN FRANCISCO, CUNDINAMARCA .....	20
FIGURA 4-2 COBERTURA DEL SUELO DE LA MICROCUENCA RÍO SAN FRANCISCO, CUNDINAMARCA.....	22
FIGURA 4-3 NÚMEROS DE CURVA PARA LA MICROCUENCA DEL RÍO SAN FRANCISCO (COBERTURA VEGETAL Y USOS DE SUELO). FUENTE PROPIA. ....	23

## LISTA DE GRÁFICAS

GRÁFICA 4-1 PERFIL RÍO SAN FRANCISCO. FUENTE PROPIA. ....	18
GRÁFICA 4-2 CURVA HIPSOMÉTRICA MICROCUENCA RÍO SAN FRANCISCO. FUENTE PROPIA .....	18
GRÁFICA 4-4 CURVAS IDF SINTÉTICAS APROXIMADAS OBTENIDAS. FUENTE PROPIA. ....	26
GRÁFICA 4-5 HIETOGRAMAS O TORMENTAS DE DISEÑO OBTENIDAS PARA LOS PERIODOS DE RETORNO DE 5, 10, 50, 100 Y 500 AÑOS, DISTRIBUIDOS POR EL MÉTODO DE BLOQUE ALTERNO. FUENTE PROPIA .....	27
GRÁFICA 4-6 HIDROGRAMAS RESULTANTES PARA CADA TR. FUENTE PROPIA. ....	28
GRÁFICA 4-7 COMPARACIÓN DE CAUDALES MÁXIMOS INSTANTÁNEOS OBTENIDOS Y CAUDALES MEDIOS DIARIOS EN LA ESTACIÓN LA IBERIA. FUENTE PROPIA. ....	29

## LISTA DE TABLAS

TABLA 2-1 PUNTO DE CIERRE DE LA CUENCA, ESTACIÓN LIMNIGRÁFICA LA IBERIA. FUENTE PROPIA. ....	12
TABLA 2-2 ESTACIONES HIDROMETEOROLÓGICAS IDENTIFICADAS EN LA CUENCA DE ESTUDIO. FUENTE PROPIA. ....	13
TABLA 4-1 PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS DE LA MICROCUENCA DEL RÍO SAN FRANCISCO. FUENTE PROPIA.....	17
TABLA 4-2 TIPO DE SUELO SEGÚN UNIDADES CARTOGRÁFICAS ENCONTRADAS. FUENTE PROPIA.....	19
TABLA 4-3 COBERTURAS DEL SUELO. FUENTE PROPIA. ....	21
TABLA 4-4 TIEMPO DE CONCENTRACIÓN. FUENTE PROPIA. ....	24
TABLA 4-5 ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS USADAS EN LA MICROCUENCA RÍO SAN FRANCISCO. FUENTE PROPIA.....	24
TABLA 4-6 DATOS HISTÓRICOS DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA ANUAL EN 24 EN LAS ESTACIONES DE INFLUENCIA A LA MICROCUENCA. FUENTE PROPIA. ....	25
TABLA 4-7 CAUDALES MÁXIMOS INSTANTÁNEOS OBTENIDOS PARA CADA TR. FUENTE PROPIA.....	27

## RESUMEN

El presente trabajo de grado consistió en analizar el comportamiento hidrológico de la cuenca del Río San Francisco, afluente al embalse El Sisga, Cundinamarca, teniendo en cuenta las coberturas vegetales y tipo de suelo de la misma y se examinó como responde la cuenca ante diferentes escenarios de uso del suelo. Se utilizaron curvas de Intensidad- Duración- Frecuencia, IDF aproximadas para la cuenca y se generaron los hietogramas de diseño calculados a partir de la información de precipitación máxima multianual de 24h de las estaciones Panonia y Potrero.

Se consultó información de los Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Entre los insumos se destacan: mapas de tipo de suelos, coberturas y datos climatológicos.

Se realizaron las simulaciones con software HEC-HMS que aplica el método de hidrograma unitario, usando los hietogramas o tormentas de diseño como entrada y obteniendo los hidrogramas resultantes que contienen los caudales máximos instantáneos para cada periodo de retorno, como las salidas. Los resultados obtenidos indican que el uso y tipo de suelo inciden en la alta capacidad de infiltración de la cuenca durante una tormenta de diseño de 5, 10, 50, 100 y 500 años de periodo de retorno. A su vez, se realizó una primera comparación de los caudales resultantes máximos instantáneos con la serie de caudales medios diarios registrados en la estación Limnigráfica La Iberia (punto de cierre de la cuenca) y se encontró que están dentro del orden de magnitud de la serie histórica, entre otros análisis.

*Palabras clave:* Curvas Intensidad Duración Frecuencia, Tipo y uso del suelo , hidrograma unitario, HEC-HMS

## ABSTRACT

The present work of degree consisted in analyzing the hydrological behavior of the basin of the San Francisco River, affluent to the reservoir El Sisga, Cundinamarca, taking into account the vegetal coverings and type of soil of the same one and was examined how it responds the basin before different Land use scenarios. Intensity-Duration-Frequency curves were used, approximate IDF for the basin and the design hietograms calculated from the 24-h multi-annual maximum precipitation information of the Panonia and Potrero stations were used.

Information was gathered from the Agustín Codazzi Geographic Institute (IGAC) and the Institute of Hydrology, Meteorology and Environmental Studies (IDEAM). Among the inputs are: soil type maps, coverages and climatological data.

The simulations were carried out using HEC-HMS software that applied the unit hydrograph method, using the design logos or storms as input and obtaining the resulting hydrographs that contain the maximum instantaneous flows for each return period, such as the outputs. The results indicate that the use and type of soil affect the high infiltration capacity of the basin during a storm of design of 5, 10, 50, 100 and 500 years of return period. In turn, a first comparison was made of the instantaneous maximum instantaneous flow rates with the series of daily average flows recorded at the La Iberia Limnigraphic Station (basin closure point) and found to be within the order of magnitude of the series Historical, among other analyzes.

*Keywords:* Rainfall Intensity-Duration-Frequency (IDF) Curves, Type and land use, Unit hydrograph, HEC-HMS



## INTRODUCCIÓN

Como ejemplo de aplicación del conocimiento en temas hidrológicos en el presente documento se estudiarán las afluencias naturales al embalse del Sisga que corresponden principalmente a las afluencias del Río San Francisco. La represa del Sisga se planeó y construyó para controlar las inundaciones en la Sabana de Bogotá regulando los caudales máximos del río Bogotá. Además dicha represa almacena el exceso de agua que se produce en la cuenca del río San Francisco en la temporada húmeda y poder utilizarse en la época seca para el abastecimiento del líquido en la ciudad de Bogotá que lo regula la planta de Tibitoc a cargo del Acueducto de Bogotá que abastece la demanda de la ciudad (COLPARQUES).

De allí la importancia de continuar con el seguimiento y monitoreo al comportamiento hidrológico de las cuencas, de manera tal que la información y habilidades adquiridas generen la oportunidad de mejorar las estimaciones y posibles pronósticos cuando se requieran.

Este proyecto tiene como objeto conocer el comportamiento hidrológico del Río San Francisco en la cuenca abastecedora del embalse el Sisga ubicada en el municipio de Chocontá, Cundinamarca, mediante la ejecución por el método de hidrograma unitario que aplica el software HEC-HMS para obtener los caudales máximos instantáneos antes diferentes periodos de retorno. Para conseguirlo, se requirió de la caracterización morfométrica de la cuenca, los datos hidrometeorológicos de estaciones de influencia, el cálculo de la curva número de escurrimiento a partir de los tipos y usos del suelo, y la obtención de las tormentas de diseño o hietogramas asociados a los periodos de retorno. De manera adicional se realizó la comparación de los caudales instantáneos máximos obtenidos y los caudales medios diarios registrados en la estación Limnigráfica La Iberia (punto de cierre de la cuenca). Los resultados se consideran en el presente documento.

# 1 GENERALIDADES DEL TRABAJO DE GRADO

## 1.1 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Saneamiento de Comunidades

## 1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.2.1 *Antecedentes del problema*

En la revisión bibliográfica existe gran variedad de ejercicios académicos así como de consultoría sobre modelación hidrológica, sin embargo estudios sobre la cuenca de estudio el material bibliográfico es escaso. Se encuentra la modelación de la Quebrada Golillas afluente al embalse El Sisga con un área aferente de 10.75 km<sup>2</sup>, diferente al afluente principal al embalse que es el Río San Francisco donde concluye que a pesar de que la cuenca tiene tendencia a las crecientes por su morfometría, para el año 2009 estos riesgos se han reducido debido a un incremento de la cobertura de bosques con el paso del tiempo (Bernal S, 2015).

No se encuentra documentado un modelo hidrológico actualizado de la cuenca abastecedora al embalse El Sisga sobre el Río San Francisco (con punto de cierre en el sitio de presa o en la cola del embalse) que incluya los últimos 5 años de datos hidrometeorológicos.

### 1.2.2 *Pregunta de investigación*

¿Cómo es el comportamiento hidrológico de la cuenca abastecedora al embalse el Sisga (Río San Francisco) actualmente?

## 1.3 JUSTIFICACIÓN

El presente proyecto representa una oportunidad de investigación teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- Es conveniente porque permite aplicar las metodologías en modelación y habilidades en software adquiridos en el proceso de aprendizaje de la especialización.
- Impacto en la operación y regulación del embalse El Sisga, asociado a la cuenca del Río Bogotá, al convertirse en instrumento de decisión para las entidades que intervienen según el uso en la cuenca del Río Bogotá. Las entidades que intervienen son la Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá (EAB) y la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR).
- Aplicación de metodologías de modelación de cuencas hidrológicas que tienen en cuenta el uso y tipo de suelo.

## **1.4 OBJETIVOS**

### 1.4.1. Objetivo general

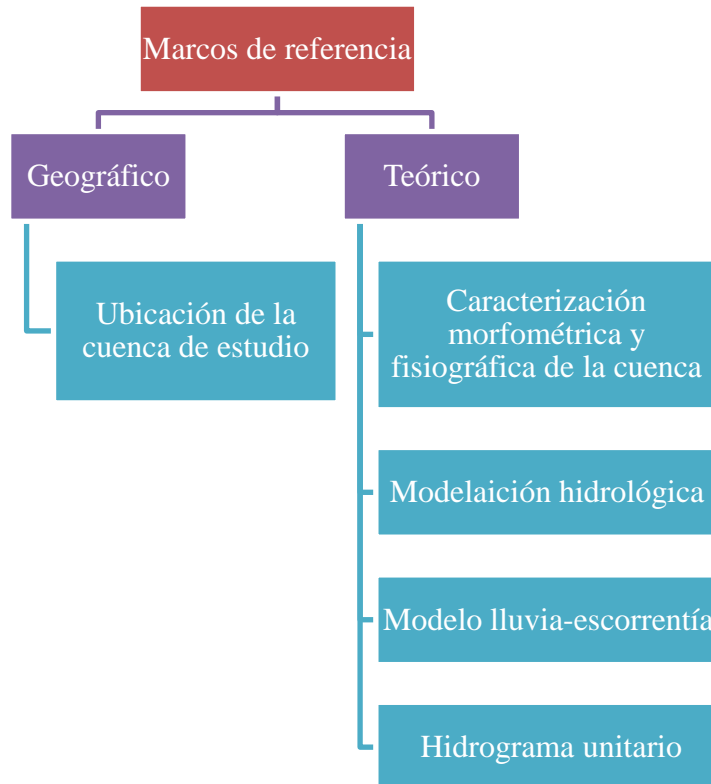
Conocer el comportamiento hidrológico del Río San Francisco en la cuenca abastecedora del embalse El Sisga en el municipio de Chocontá, Cundinamarca, mediante la modelación hidrológica.

### 1.2.2. Objetivos específicos

- Caracterizar morfológicamente la cuenca abastecedora del embalse El Sisga (cuenca del Río San Francisco).
- Realizar la modelación hidrológica del Río San Francisco en la cuenca abastecedora del embalse El Sisga usando datos hidrometeorológicos hasta 2016 para tiempos de retorno determinados.
- Analizar y concluir a partir de las características hidrológicas resultantes de la modelación.

## 2 MARCOS DE REFERENCIA

Los marcos en los que se desarrolla el presente trabajo se muestran en la Figura 2-1,



**Figura 2-1 Marcos de referencia. Fuente propia.**

### 2.1 MARCO GEOGRÁFICO

La cuenca de estudio es la perteneciente al Río San Francisco (cuenca abastecedora al embalse el Sisga), en el municipio de Chocontá, departamento de Cundinamarca. El punto de cierre fue definido por la ubicación de la estación limnigráfica La Iberia (21208700) de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR que fue instalada desde el 5/01/1985 (Tabla 2-1), teniendo una serie de datos de 32 años.

**Tabla 2-1 Punto de cierre de la cuenca, estación limnigráfica La Iberia. Fuente propia.**

Código	Estación	Entidad	Categ.	Fecha de Instalación	Corriente	Municipio	LATITUD		LONGITUD		Elevación msnm
21208700	IBERIA_LA	CAR	LG	05/01/1985	R. SAN FRANCISCO	CHOCONTA	5.020	N	-73.440	W	2650

### 2.1.1. Estaciones de influencia

En la **Tabla 2-2** se relacionan las estaciones de monitoreo hidrometeorológico identificadas como estaciones de referencia para los análisis. Las estaciones pertenecen al Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) y la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR).

**Tabla 2-2 Estaciones hidrometeorológicas identificadas en la cuenca de estudio. Fuente propia.**

Código	Estación	Entidad	Categ.	Fecha de Instalación	Corriente	Municipio	LATITUD		LONGITUD		Elevación msnm
21205480	IBERIA_LA	CAR	CP	15/08/1955	SISGA	CHOCONTA	5.033	N	-73.717	W	2760
21200780	POTRERO LARGO*	IDEAM	PM	15/03/1985	BOGOTA	GUATAVITA	4.929	N	-73.780	W	2780
21200160	PANONIA*	IDEAM	PM	01/03/1985	BOGOTA	CHOCONTA	5.058	N	-73.734	W	2800
21201330	LOCAL EL	CAR	PG	15/06/1980	BOGOTA	SESQUILE	4.983	N	-73.700	W	2950
21200960	CONSUELO EL	CAR	PG	15/03/1967	TOMINE	SESQUILE	4.983	N	-73.783	W	2960

\*Estaciones con información disponible en el momento del análisis. Se recomienda que realizar una actualización a la presente modelación que incluya todas las estaciones identificadas.

## 2.2 MARCO TEÓRICO

La información que se maneja en el presente proyecto de investigación se enmarca en las siguientes temáticas

### Caracterización morfométrica y fisiográfica de la cuenca

En el conocimiento del régimen hidrológico de las cuencas, los factores morfométricos y fisiográficos de ellas, juegan un papel muy importante para el entendimiento de los procesos hidrológicos y sus variaciones en tiempo y espacio. Dentro de los factores genéticos del régimen hidrológico más conocidos son los siguientes: a) la red hidrográfica, indicada en la mayoría de los mapas topográficos, b) las características geomorfológicas, especialmente las morfométricas, las cuales se pueden analizar y determinar directamente en los mapas topográficos, c) algunas características del régimen climático como isoyetas e isotermas que se presentan en mapas climáticos y meteorológicos especiales, d) características fisiográficas cas generales como la litología, los suelos, la vegetación, etc. (IDEAM - Instituto de Hidrología, Protocolo para el monitoreo y seguimiento del agua, 2007).

Las características morfométricas y fisiográficas que presentan mayor interés en el proceso de generalización, determinación y cálculo indirecto de parámetros hidrológicos son: el área, cobertura vegetal, pendiente media de la cuenca, longitud del río principal entre otras. (IDEAM - Instituto de Hidrología, Protocolo para el monitoreo y seguimiento del agua, 2007)

### **Modelación Hidrológica**

El Modelo Hidrológico como representación simplificada de un sistema real complejo llamado prototipo, bajo forma física o matemática. De manera matemática, el sistema real está representado por una expresión analítica. En un modelo hidrológico, el sistema físico real que generalmente representamos es la 'cuenca hidrográfica' y cada uno de los componentes del ciclo hidrológico. De esta manera un modelo matemático nos ayudará a tomar decisiones en materia de hidrología, por lo que es necesario tener conocimiento de entradas (inputs) al sistema y salidas (outputs) a partir del sistema, para verificar si el modelo es representativo del prototipo. La salida de los modelos hidrológicos varía - dependiendo de las metas y objetivos del modelo. Algunos modelos se utilizan para predecir los totales mensuales de escorrentía, mientras que otros están diseñados para ver a las tormentas individuales. El resultado más común es el hidrograma o hidrograma de escurrimiento (IDEAM, Modelación hidrológica) .

### **Modelo Lluvia-Escorrentía**

Los modelos lluvia escorrentía agregados son valiosos para predecir y simular los caudales con base en una conceptualización que represente en forma simplificada los procesos físicos en la cuenca: infiltración, evaporación, flujo subsuperficial y flujo subterráneo. El tránsito se hace en forma agregada considerando una hidrograma unitario. En Colombia se han trabajado diferentes modelos lluvia-escorrentía como: modelo de humedad del suelo de Sacramento y el modelo conceptual de tanques (Carvajal, Año 74 Nro. 152).

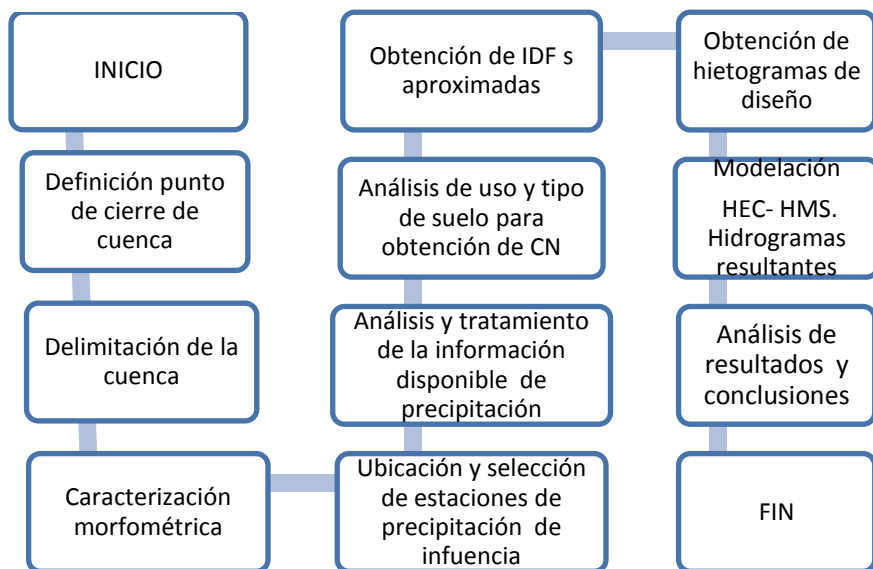
En los últimos años se ha trabajado la inteligencia artificial, especialmente las redes neuronales para representar procesos lluvia-escorrentía en una cuenca (Chang, 2001).

### **Hidrograma Unitario**

Se define como el hidrograma de escurrimiento debido a una precipitación con altura en exceso (hpe) unitaria (un mm, un cm, una pulg, etc.), repartida uniformemente sobre la cuenca, con una intensidad constante durante un período específico de tiempo (duración en exceso “de”). El hidrograma unitario, es un hidrograma típico de la cuenca. Como las características fisiográficas de la cuenca (área, forma, pendiente, etc.) son relativamente constantes, cabe esperar una considerable similitud en la forma de los hidrogramas, correspondientes a precipitaciones de características similares (duración, intensidad, distribución, cantidad de escurrimiento, etc.) (Sánchez San Román)

### 3 METODOLOGÍA

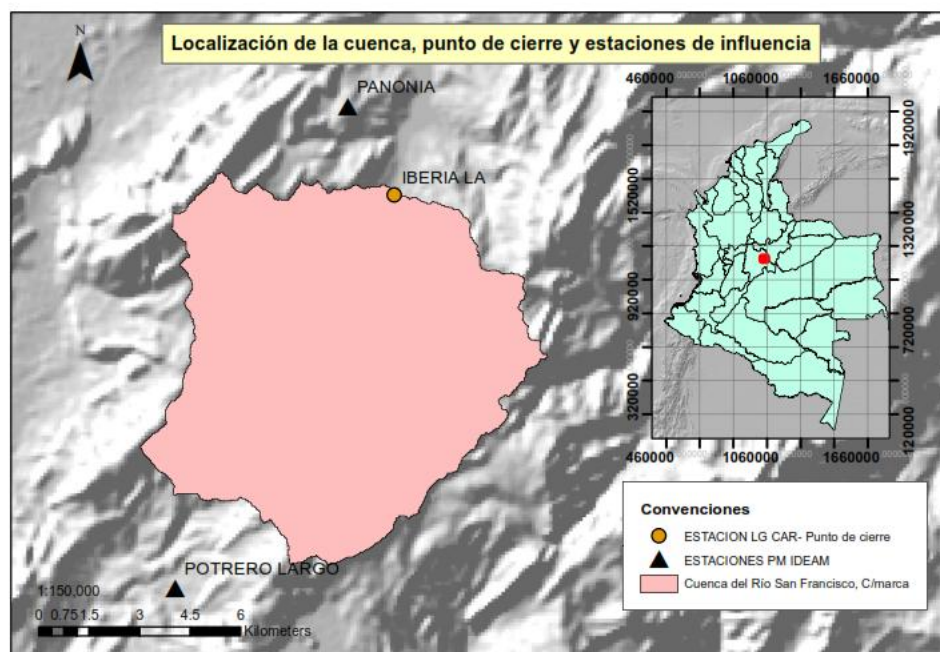
La metodología desarrollada se presenta en la Figura 3-1



**Figura 3-1 Metodología desarrollada. Fuente propia.**

#### 3.1. Delimitación de cuenca y ubicación de estaciones pluviométricas de influencia

Se definió estación hidrológica La Iberia (Cundinamarca) como punto de cierre en el Río San Francisco. Para la delimitación de la cuenca, determinación de parámetros morfométricas, y ubicación de estaciones, se empleó el software SWAT y ArcGIS con la ayuda del Modelo Digital del Terreno-DEM de 30mx30m. La delimitación se visualiza en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**



**Figura 3-2 Ubicación de la cuenca de estudio y estaciones pluviométricas**

### **3.2. Análisis y tratamiento de la información disponible de precipitación.**

Se recolectó y revisó la cantidad y calidad de los datos de precipitación disponible. Se les realizó análisis de datos atípicos mediante los métodos de Cajas-Bigotes y US Water Resource Council, 1981, donde no se descartó ningún dato de precipitación atípico.

### **3.3. Análisis de uso y tipo de suelo para obtención de CN**

Respecto a la cobertura y uso de suelo se obtuvieron varias combinaciones de grupos de suelo y tipo, con los que se calculó el CN ponderado. Los resultados se aprecian en el apéndice 2.

### **3.4. Obtención de IDF s aproximadas y hietogramas de diseño**

Se procedió a obtener las curvas IDF aproximadas de la cuenca y Hietogramas a partir de la información de precipitación máxima multianual de 24h de las estaciones y su área de influencia.

### **3.5. Modelación HEC-HMS**

Finalmente se realizaron las simulaciones con ayuda de los Hietogramas obtenido para diferentes periodos de retorno en el software HEC-HMS para la fase de modelación hidrológica, que aplica el método de hidrograma unitario, obteniendo los hidrogramas resultantes que contienen los caudales máximos instantáneos para cada periodo.



## 4 ANALISIS DE RESULTADOS

Los parámetros morfométricos obtenidos se presentan en la Tabla 4-1.

**Tabla 4-1 Parámetros morfométricos de la microcuenca del Río San Francisco. Fuente propia.**

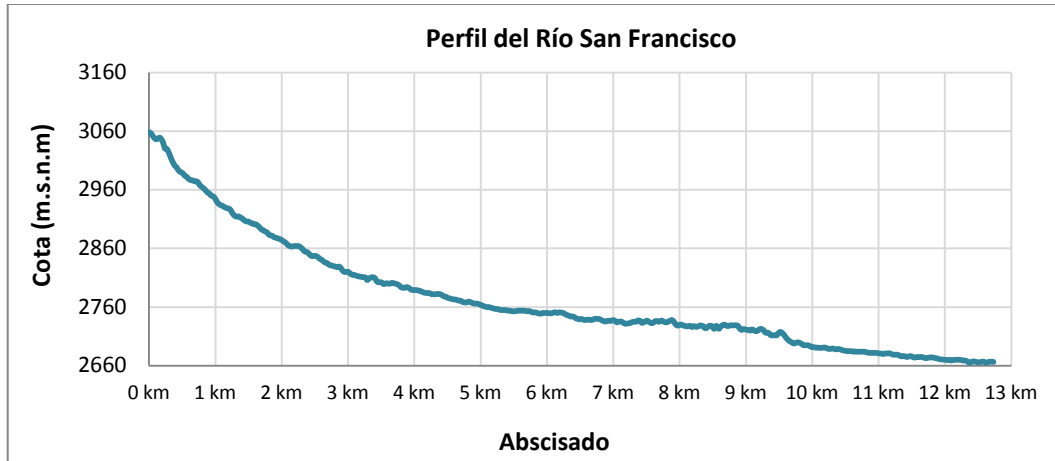
Parámetro morfométrico	Unidad	Valor
Área de la cuenca	km <sup>2</sup>	91.45
Perímetro de la cuenca	M	57.26
Pendiente de la cuenca	%	21.62
Longitud del río	Km	16.42
Longitud de la pendiente del campo (m)	Km	15.24
Longitud máxima Axial	Km	11.50
Longitud máxima Transversal	Km	11.15
Elevación mínima de la cuenca	Msnm	2664.00
Elevación máxima de la cuenca	Msnm	3529.00
Elevación media de la cuenca	Msnm	3096.50
Elevación mediana de la cuenca	Msnm	2950.00
N° de corrientes intermitentes, perenes o tramos	-	29.00
Longitud de las corrientes	Km	49.77
Orden de drenaje	-	3.00
Densidad de corrientes (Ds)	#corrientes/km <sup>2</sup>	0.32
Densidad de drenajes (Dd)	km/km <sup>2</sup>	0.54
Factor de forma (Kf)	adimensional	0.69
Coefficiente de Compacidad (Kc)	adimensional	1.69
Índice de alargamiento (Ia)	adimensional	1.03

A partir del MDT 30mx30m y uso del aplicativo SWAT se obtuvo que el área de estudio corresponde a una microcuenca de **91.45 km<sup>2</sup>**.

Según los parámetros obtenidos la densidad de drenaje corresponde a una microcuenca pobremente drenada (alta capacidad de infiltración), es decir con alta amortiguación ante crecientes y según los parámetros de forma se tiene que es una microcuenca alargada, oval oblonga- rectangular oblonga (Jiménez E., 1986).

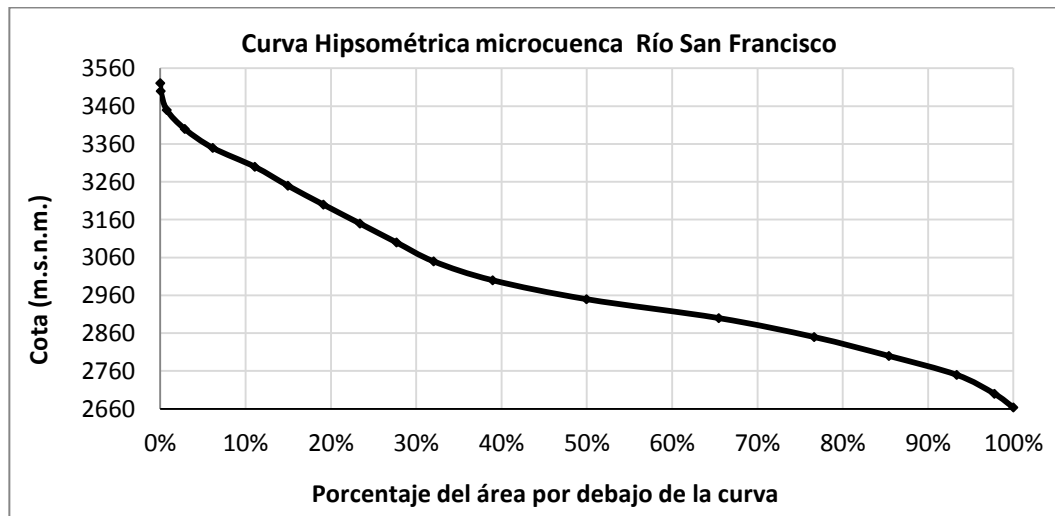
A continuación, en la .

Gráfica **4-1** se presenta el perfil obtenido para el Río San Francisco



**Gráfica 4-1 Perfil Río San Francisco. Fuente propia.**

En la Gráfica 4-2 se presenta la curva hipsométrica de la microcuenca. Por la forma de la curva hipsométrica (Strahler, 194), se puede concluir que la cuenca se encuentra en una etapa de madurez que cuenta con colinas medias; tiene mayores puntos por encima de la mediana de altura lo que da a entender que tiene mayor variabilidad altimétrica que significa un mayor proceso erosivo en la parte alta de la cuenca.



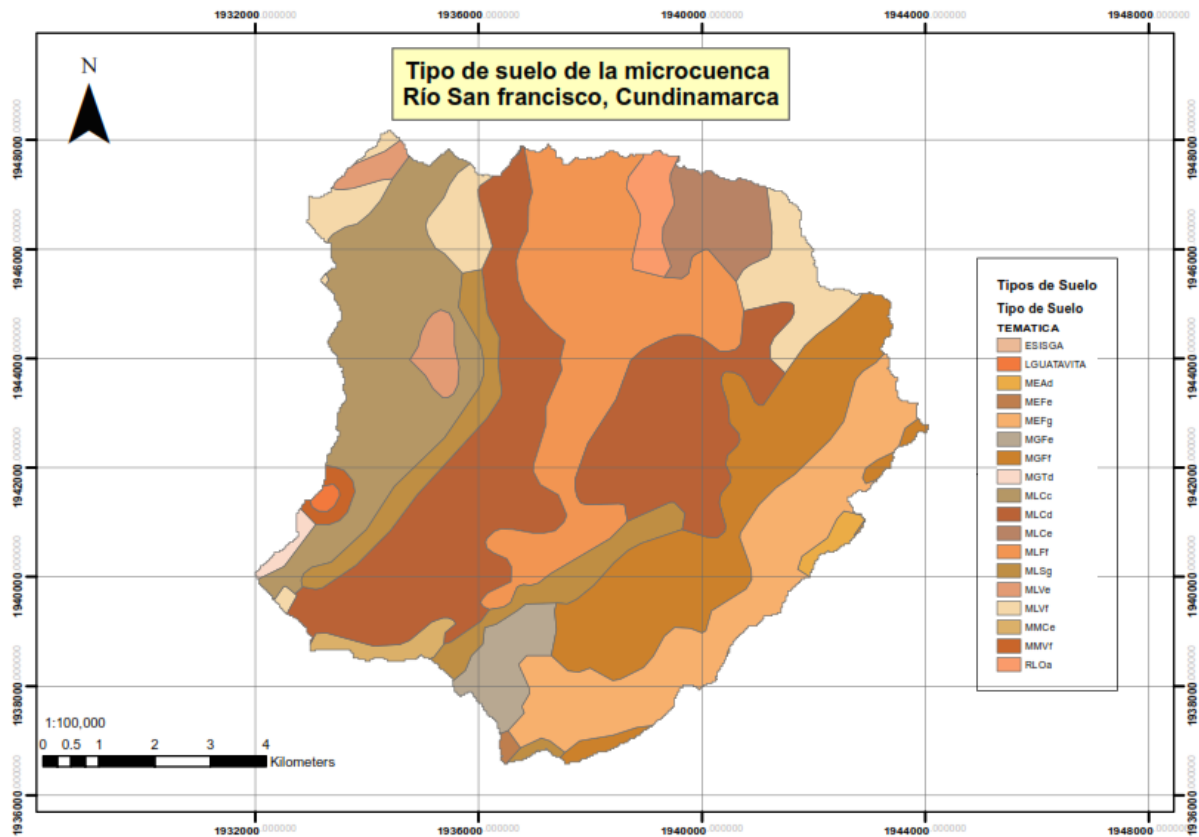
**Gráfica 4-2 Curva hipsométrica microcuenca Río San Francisco. Fuente propia**

Una vez obtenidos los principales parámetros morfométricos de la microcuenca, se realizó la revisión de las variables del suelo, cobertura y uso, para calcular el número de curva de escorrentía (CN).

En la Tabla 4-2 se describen las características de las unidades cartográficas de suelos encontradas para la cuenca de estudio. La distribución espacial de los suelos se presenta en la Figura 4-1 y para mayor detalle en el Apéndice 2

**Tabla 4-2 Tipo de suelo según unidades cartográficas encontradas. Fuente propia.**

Unidad Cartográfica	Paisaje	Tipo de relieve	Material Parental	Clima	% Área en la cuenca
MEAd	Montaña	Artesas	Depósitos clásticos glaciogénicos, con intercalaciones de limoarcillosas y depósitos orgánicos localizados	Extremadamente frío húmedo	0.5%
MEFg	Montaña	Espinazos, crestas y escarpes mayores	Rocas clásticas arenosas y limoarcillosas	Extremadamente frío húmedo	11.2%
MGFe	Montaña	Crestones	Rocas clásticas limoarcillosas y arenosas	Muy Frío muy húmedo	2.5%
MGFf	Montaña	Crestones	Rocas clásticas limoarcillosas y arenosas	Muy Frío muy húmedo	13.3%
MGTd	Montaña	Gracias de acumulación y lomas	Depósitos de ceniza volcánica sobre rocas clásticas arenosas, limoarcillosas. En sectores materiales orgánicos.	Muy Frío muy húmedo	0.4%
MLCc	Montaña	Crestas y escarpes mayores	Rocas clásticas limoarcillosas con depósito de ceniza volcánica	Frío muy húmedo	13.1%
MLCd	Montaña	Lomas	Rocas clásticas arenosas y limoarcillosas y mantos de ceniza volcánica	Frío húmedo	24.1%
MLCe	Montaña	Lomas	Rocas clásticas arenosas y limoarcillosas y mantos de ceniza volcánica	Frío húmedo	3.3%
MLFf	Montaña	Filas - Vigas	Rocas dinamotermiales de bajo grado, clásticas arenosas y mantos de ceniza volcánica	Frío húmedo	15.3%
MLSg	Montaña	Crestas y escarpes mayores	Rocas clásticas limoarcillosas con depósito de ceniza volcánica	Frío muy húmedo	5.6%
MLVe	Montaña	Crestas y escarpes mayores	Rocas clásticas limoarcillosas con depósito de ceniza volcánica	Frío muy húmedo	1.6%
MLVf	Montaña	Crestones	Rocas clásticas arenosas, limoarcillosas y químicas carbonatadas con algunos depósitos de ceniza volcánica	Frío húmedo	6.0%
MMCe	Montaña	Lomas	Rocas clásticas arenosas y limoarcillosas	Frío Seco	0.9%
MMVf	Montaña	Crestones	Rocas clásticas limoarcillosas	Cálido seco	0.5%
RLOa	Planicie	Planos de inundación	Depósitos clásticos hidrogénicos. En sectores mantos de ceniza volcánica	Frío húmedo transicional seco	1.5%

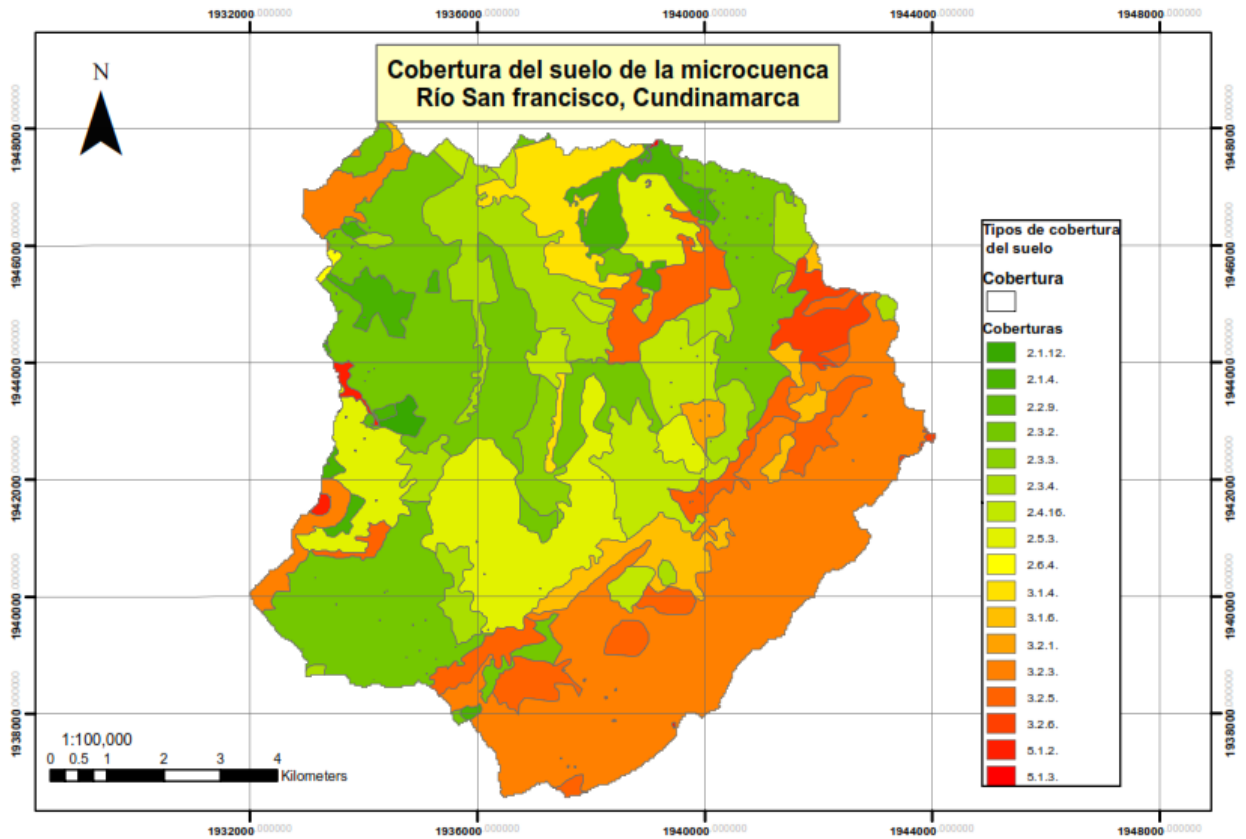


**Figura 4-1 Tipo de suelos de la microcuenca Río San Francisco, Cundinamarca**

En la Tabla 4-2 se listan los uso del suelo y áreas asociadas encontradas para la cuenca de estudio. La distribución espacial de la cobertura se presenta en la Figura 4-1.

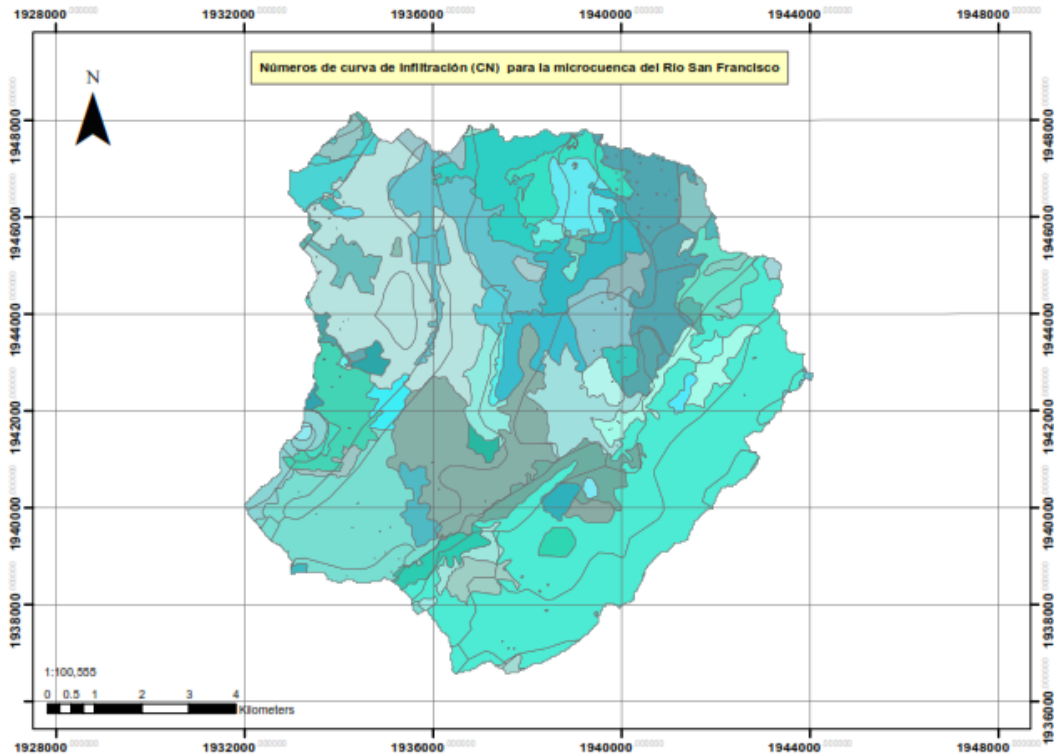
**Tabla 4-3 Coberturas del suelo. Fuente propia.**

<b>Código</b>	<b>Tipo de cobertura</b>	<b>Área (m2)</b>	<b>Área (%)</b>
2.1.12	Otros cultivos transitorios (2.1.2)	304770.6	0.33%
2.1.4.	Hortalizas	3336033.5	3.65%
2.5.3.	Pastos enmalezados (2.3.3)	31241.6	0.03%
3.2.1.	Herbazal denso	24608699.3	26.91%
2.3.2.	Pastos arbolados	1231256.8	1.35%
2.3.3.	Pastos enmalezados (2.3.3)	8315840.2	9.09%
2.4.16.	Pastos arbolados (2.3.4.)	5422096.6	5.93%
2.4.1	Mosaico de cultivos	11177485.3	12.22%
3.1.4.	Bosque de galería y ripario	80768.2	0.09%
3.1.6.	Herbazal denso de tierra firme (3.2.1)	3120011.3	3.41%
5.1.3.	Canales	2722922.0	2.98%
3.2.3.	Vegetación secundaria o en transición	433511.9	0.47%
3.2.5.	Vegetación secundaria alta (3.2.3.1)	22003843.7	24.06%
5.1.2.	Lagunas lagos y cienagas naturales	6854632.0	7.50%
2.2.9.	Pastos arbolados (2.3.2)	1473740.5	1.61%
2.6.4.	Pastos arbolados (2.3.2)	316138.2	0.35%
3.2.6.	Herbazal denso de tierra firme (3.1.6)	18616.1	0.02%



**Figura 4-2 Cobertura del suelo de la microcuenca Río San Francisco, Cundinamarca**

Una vez definidos los tipos y usos de suelo, se cruzaron estas variables y se encontraron 67 combinaciones, es decir, 67 CNs, como se aprecia en la Figura 4-3 (para mayor detalle ver Apéndice 2)



**Figura 4-3 Números de curva- CN para la microcuenca del Río San Francisco (Cobertura vegetal y Usos de suelo). Fuente propia.**

Una vez obtenidos los números de curva de escurrimiento asociados al uso y tipo de suelo (CN) se ponderó consiguiendo un único valor para la microcuenca del río San Francisco de 64.33 sin corrección y 80.58 corregido (ver Apéndice 2 para mayor detalle). La corrección de CN se realizó teniendo en cuenta las lluvias precedentes y las características de crecimiento de la vegetación.

Teniendo el número de curva, se calcularon los tiempos de concentración por diferentes métodos. Se ponderaron según el número de parámetros y métodos usados, obteniendo los resultados de la Tabla 4-4 .

**Tabla 4-4 Tiempo de concentración. Fuente propia.**

Método	Tc (min)	N° Parámetros	Parámetros	Tc*N° Parámetros	error
Kirpich	61.87	2	L,S	123.74	4360
Temez	84.20	2	L,S	168.41	1909
B.Williams	176.06	4	L,S, A, D	704.23	2319
Johnstone y Cross	164.86	2	L,S	329.71	1366
Giandotti	79.16	3	L,S,A	237.47	2376
Ventura - Heras	82.51	2	L,S	165.02	2060
V.T. Chow	160.33	2	L,S	320.66	1052
Cuerpo de Ing Ejército USA	188.52	2	L,S	377.05	3676
SCS	257.05	3	L,S,N	771.16	16681
	<b>Promedio Tc</b>	<b>Total parámetros</b>			<b>Desviación</b>
	139.40	25			66.89

<b>Tc adoptado (min)</b>	<b>127.90</b>
<b>Tc adoptado (Hr)</b>	<b>2.13</b>

Una vez obtenido el valor de CN (80.58) y el tiempo de concentración (127.90min), se calcularon los hietogramas o tormentas de diseño en función de los registros de precipitaciones máximas en 24h anuales en las estaciones de influencia sobre la microcuenca.

Las estaciones con información disponible para obtener los hietogramas fueron Panonia y Potrero Largo, de propiedad del IDEAM. Las áreas de influencia según el análisis mediante polígonos de Thiessen se relaciona en la Tabla 4-5.

**Tabla 4-5 Estaciones pluviométricas usadas en la microcuenca Río San Francisco. Fuente propia**

Código	Estación	Entidad	Categ.	Municipio	LATITUD		LONGITUD		Elevación msnm	Área de influencia (%)
21200780	POTRERO LARGO	IDEAM	PM	GUATAVITA	4.929	N	-73.780	W	2780	44
21200160	PANONIA	IDEAM	PM	CHOCONTA	5.058	N	-73.734	W	2800	56

En la Tabla 4-6 se relacionan los registros obtenidos de precipitación máxima en 24 horas para el periodo 1985-2016 en cada estación.



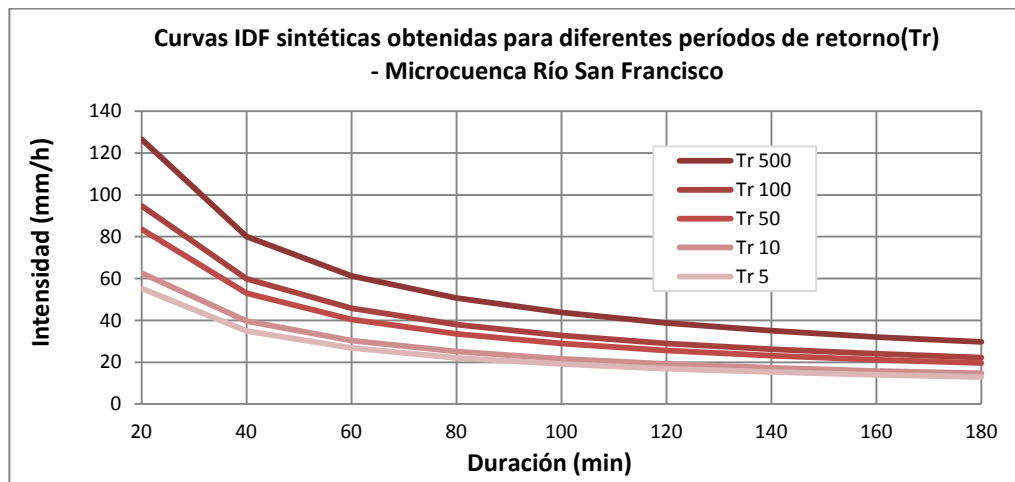
**Tabla 4-6 Datos históricos de precipitación máxima anual en 24 en las estaciones de influencia a la microcuenca. Fuente propia.**

Año	Máxima P anual en 24h (mm)	
	Panonia	Potrero Largo
1985	29	31.4
1986	50.9	31.5
1987	80	35
1988	26	20
1989	26	43.6
1990	28.5	60
1991	36.5	80
1992	25	30
1993	38	30.9
1994	32.4	90
1995	35.6	33
1996	51	47
1997	56.6	55.7
1998	35.6	39.3
1999	31.2	30
2000	50.5	49.8
2001	42.2	67.2
2002	42.2	24.2
2003	35	24.6
2004	34.4	44.8
2005	34	88.3
2006	48.8	42.5
2007	28.8	20
2008	38.4	39.5
2009	27.6	31.8
2010	39.8	63
2011	42.4	40
2012	41.7	37
2013	42.9	66.3
2014	40.4	35.4
2015	36.9	32.3
2016	0	0
<b>Media</b>	<b>37.76</b>	<b>42.63</b>
Mediana	36.70	38.15
Desviación estándar	12.97	20.12
Curtosis	4.36	0.63

Año	Máxima P anual en 24h (mm)	
	Panonia	Potrero Largo
Coefficiente de asimetría	0.44	0.73

La precipitación promedio máxima en 24 horas a nivel multianual reportada en la estación pluviométrica Panonia, corresponde a 37.76 mm y para la estación pluviométrica Potrero Largo corresponde a 42.63 mm.

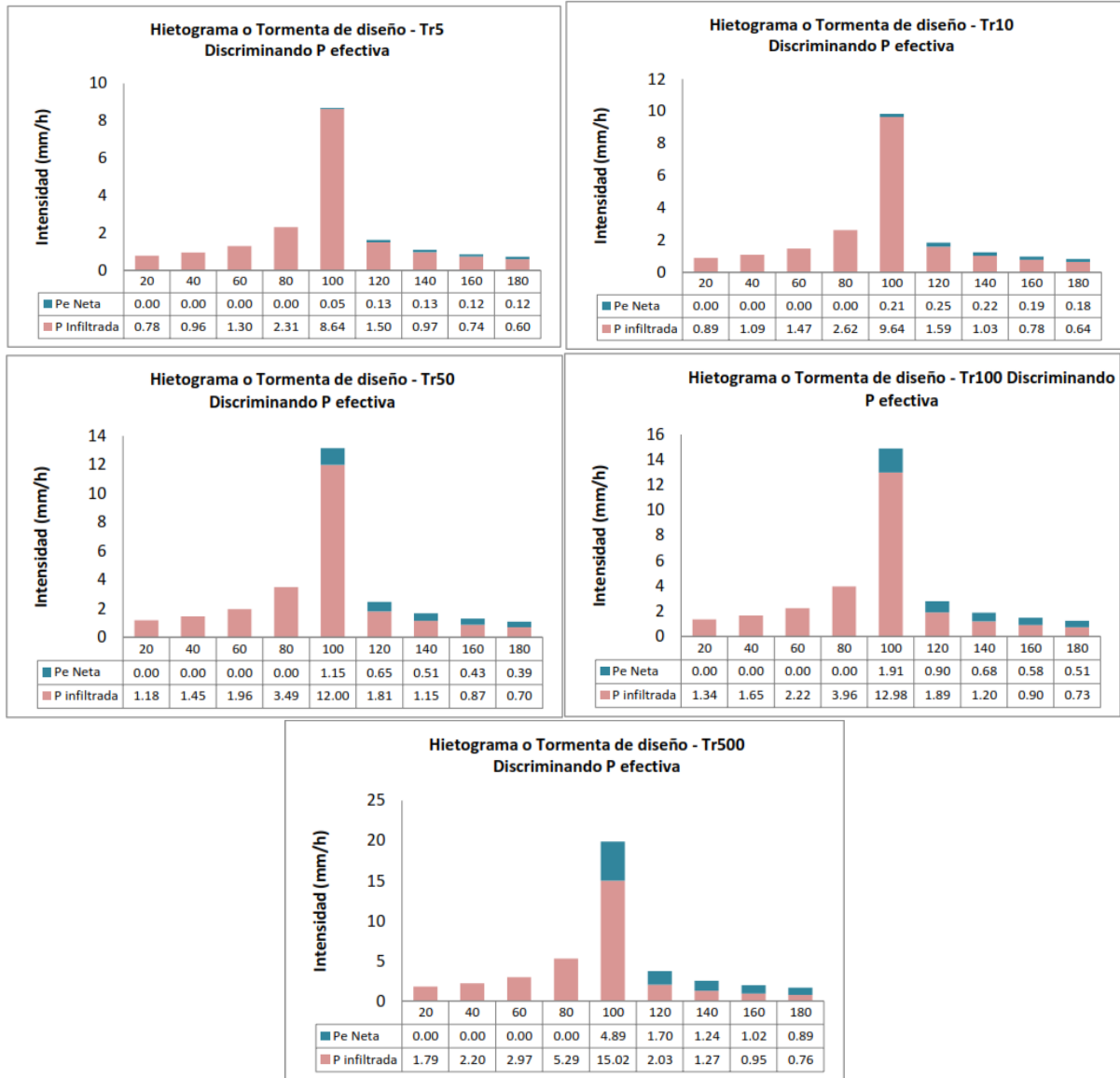
Para obtener la lluvia puntual de la totalidad de la microcuenca se ponderó la lluvia neta de cada estación en función del área de influencia sobre la microcuenca del Río San Francisco. De allí se procedió a generar las curvas IDF sintéticas aproximadas según la metodología de Curvas IDF sintéticas regionalizadas para Colombia (Granados, 1998) para 5 periodos de retorno (5, 10, 50, 100 y 500). Las curvas aproximadas se muestran en la Gráfica 4-3 y los cálculos para su obtención se presentan en el Apéndice 4.



**Gráfica 4-3 Curvas IDF sintéticas aproximadas obtenidas. Fuente propia.**

Posteriormente, se calcularon las curvas de masas de los de las precipitaciones para duraciones entre 0 y 180 min y periodos de retorno de 5, 10, 50, 100 y 500 años; luego, con base en estas curvas de masas se calcularon los hietogramas de los aguaceros puntuales respectivos, el procedimiento de cálculo se muestra en el Apéndice 5 para cada periodo de retorno, donde en cada periodo el máximo se halla en el 50% del tiempo de duración del hidrograma.

Las tormentas de diseño obtenidas para los periodos de retorno de 5, 10, 50, 100 y 500 años y distribuidas por el método de bloque alterno se muestran en el conjunto de la Gráfica 4-4.



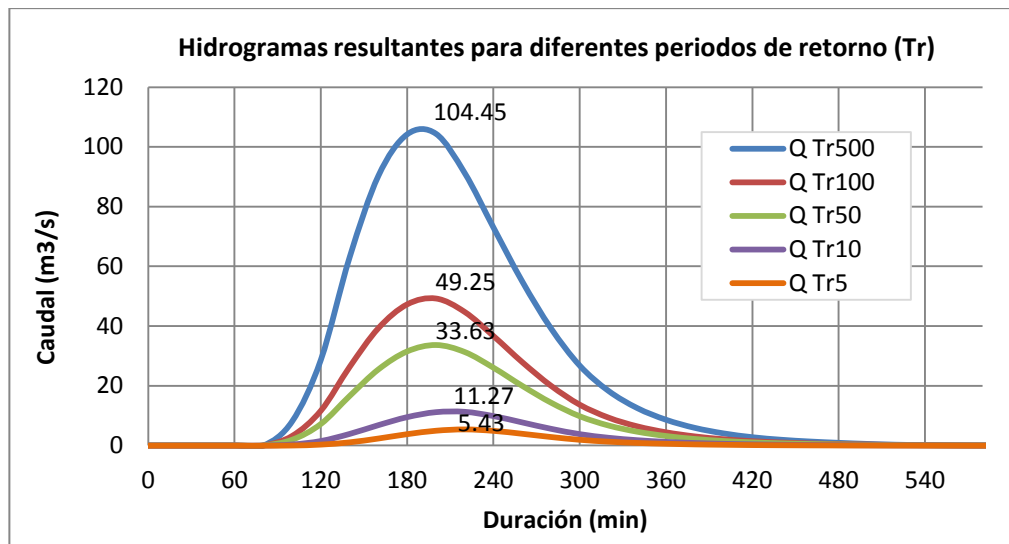
**Gráfica 4-4 Hietogramas o tormentas de diseño obtenidas para los periodos de retorno de 5, 10, 50, 100 y 500 años, distribuidos por el método de bloque alterno. Fuente propia**

Con el método del Hidrograma Unitario del Servicio de Conservación de Suelos y mediante el software HEC-HMS, se calcularon los caudales máximos instantáneos anuales de las crecientes producidas por la microcuenca. El tiempo de rezago (Tlag) fue calculado como el tiempo de concentración multiplicado por un factor de 0.6.

Los caudales máximos instantáneos obtenidos para cada periodo de retorno se presentan en la Tabla 4-7, y los hidrogramas resultantes se muestran en la Gráfica 4-5 .

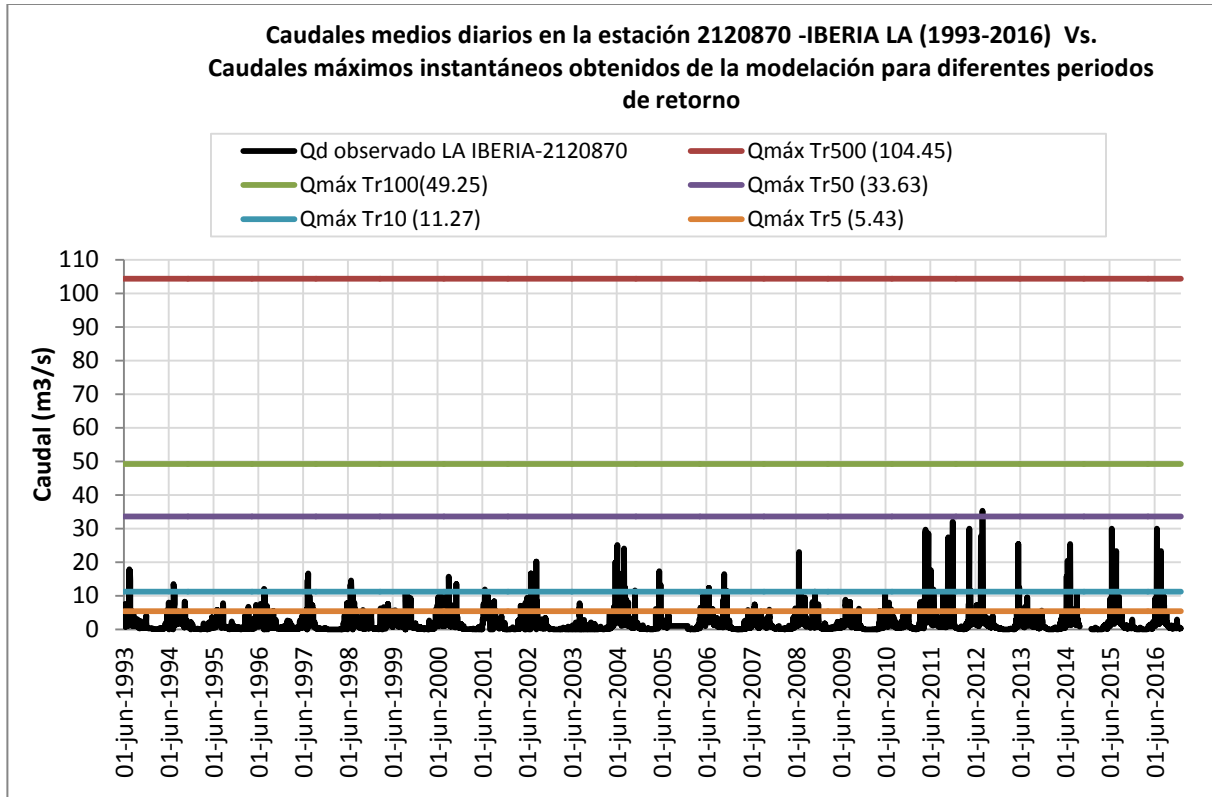
**Tabla 4-7 Caudales máximos instantáneos obtenidos para cada Tr. Fuente propia.**

Tr	5 años	10 años	50 años	100 años	500 años
Q(m <sup>3</sup> /s)	5.43	11.27	33.63	49.25	104.45



**Gráfica 4-5 Hidrogramas resultantes para cada Tr. Fuente propia.**

En la Gráfica 4-6 se presenta como primer y grueso acercamiento, una comparación entre la serie caudales medios diarios disponible de la estación hidrológica La Iberia y los caudales máximos instantáneos resultantes. Se encuentra que, los caudales obtenidos de la modelación están dentro del orden de magnitud de la serie histórica; las probabilidades asociadas a los periodos de retorno de 5 y 10 años han sido alcanzadas por caudales medios diarios registrados; para el periodo de retorno de 50 años se han alcanzado caudales medios diarios 1 vez, coincide con un fenómeno ENSO fuerte La Niña (asociado a volúmenes altos de precipitación en la región Andina de Colombia) y de ahí en adelante se han registrado caudales medios diarios altos.



**Gráfica 4-6 Comparación de caudales máximos instantáneos obtenidos y caudales medios diarios en la estación La Iberia. Fuente propia.**

Para tener un análisis preciso se deben comparar los caudales resultantes (máximos instantáneos) con los caudales máximos instantáneos registrados en la estación de cierre La Iberia. La comparación de caudales máximos y la calibración del modelo hidrológico no hacen parte del alcance del presente estudio.

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Se caracterizó morfológicamente la cuenca abastecedora del embalse El Sisga (cuenca del Río San Francisco) y se encontró que corresponde a una microcuenca de 91.45km<sup>2</sup>, pobremente drenada (alta capacidad de infiltración), con alta amortiguación ante crecientes, de forma alargada y oval oblonga- rectangular, se encuentra en etapa de madurez y tiene mayor proceso erosivo en la parte alta.
- En su mayoría el suelo es tipo B o moderadamente de bajo potencial de escorrentía, por lo anterior cuenta con suelos con tasa de infiltración moderada cuando están muy húmedos, moderadamente bien drenados a bien drenados, suelos con texturas moderadamente finas a moderadamente gruesas, y permeabilidad moderadamente lenta a moderadamente rápida. Son suelos con tasas de transmisión de agua moderadas.
- Se realizó satisfactoriamente la modelación hidrológica del Río San Francisco usando datos hidrometeorológicos hasta 2016 para tiempos de retorno de 5, 10, 50, 100 y 500. Los caudales máximos instantáneos obtenidos para cada periodo de retorno son en su orden y expresados en m<sup>3</sup>/s, 5.43, 11.27, 33.63, 49.25 y 104.56.
- Al comparar los caudales máximos instantáneos obtenidos con los caudales medios diarios registrados en la estaciones limnigráfica La Iberia (CAR) localizada en el punto de cierre, los caudales obtenidos están dentro del orden de magnitud de la serie histórica; las probabilidades asociadas a los periodos de retorno de 5 y 10 años han sido alcanzadas por caudales medios diarios registrados; para el periodo de retorno de 50 años se han alcanzado caudales medios diarios 1 vez que coincide con un fenómeno ENSO fuerte La Niña (asociado a volúmenes altos de precipitación en la región Andina de Colombia) para el periodo 2011 y de ahí en adelante se han registrado caudales medios diarios altos.
- Se realizó la obtención del número de curva- CN ponderado como primer acercamiento a temas agrológicos.
- Se observó en la modelación que el suelo tiene un pobre drenaje y la precipitación se infiltra durante el inicio del aguacero.
- Los resultados obtenidos indican que el uso y tipo de suelo inciden en la alta capacidad de infiltración de la cuenca durante una tormenta de diseño de 5, 10, 50, 100 y 500 años de periodo de retorno.
- Aunque el caudal instantáneo máximo de 104.56m<sup>3</sup>/s para un periodo de retorno de 500 tiene una probabilidad asociada de tan sólo el 0.2%., no se debe subestimar puesto que hoy 2017, se han registrado los caudales que se creían lejanos o poco probables (Tr 50)

en algunas regiones del país.

- Se recomienda realizar el análisis de precipitación con la totalidad de las estaciones identificadas que permitan realizar un análisis más preciso
- Se recomienda comparar los caudales simulados (máximos instantáneos) con los caudales máximos instantáneos registrados en la estación de cierre para tener un análisis preciso.

## BIBLIOGRAFÍA

- Bernal S, P. C. (2015). *Proyecto de grado. Análisis de la influencia de la cobertura vegetal en la generación de caudales de la cuenca de la Quebrada Granadillo en los años 1993 y 2009 a partir de aerofotografías y cartografía del Instituto Geográfico Agustín Codazzi*. Bogotá D.C.: Universidad Católica de Colombia.
- CAR. (2006). *Elaboración del Diagnostico, Prospectiva y Formulación de la Cuenca Hidrográfica del río Bogotá*. Bogotá D.C.
- Carvajal L, R. E. (2007). Calibración del modelo lluvia-escorrentía. *Dyna*, Año 74, Nro. 152, 73-87.
- Carvajal, L. F. (Año 74 Nro. 152). Calibración del modelo lluvia-escorrentía agregado GR4J. Aplicación: cuenca del Río Aburrá. *Dyna*, 73-87.
- Chang, F. J. (2001). A counterpropagation fuzzy-neural network modeling approach to real time streamflow prediction. *Journal of Hydrology* p,245, 153-164.
- Chow, V. (1994). *Hidrología Aplicada*. Bogotá: McGraw-Hill.
- COLPARQUES, O. (s.f.). COLPARQUES. Recuperado el 7 de Octubre de 2016, de COLPARQUES: <http://www.colparques.net/SISGA>
- Granados, D. (1998). *Curvas sintéticas regionalizadas de Intensidad-Duración - Frecuencia para Colombia*. Bogotá D.C: Universidad Los Andes.
- IDEAM - Instituto de Hidrología, M. y. (2007). *Protocolo para el monitoreo y seguimiento del agua*. Bogotá D.C.
- IDEAM. (2010). *Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para*. Bogotá: IDEAM.
- IDEAM. (s.f.). *Catálogo de estaciones v9*. Recuperado el 15 de Marzo de 2017, de IDEAM: <http://www.ideam.gov.co/solicitud-de-informacion>
- IDEAM. (s.f.). *Modelación hidrológica*. Recuperado el 14 de Octubre de 2016, de [www.ideam.gov.co/web/agua/modelacion-hidrologica](http://www.ideam.gov.co/web/agua/modelacion-hidrologica)
- INVIAS. (2009). *Manual de drenaje para carreteras*. Bogotá.
- Jiménez E., H. (1986). *Hidrología Básica*. Cali: Univalle.
- Monsalve, G. (1999). *Hidrología en la Ingeniería*. Alfa Omega Editor.
- Perrin, C. (2003). Improvement of a parsimonious model for streamflow simulation. *Journal of Hydrology*.
- Sánchez San Román, F. J. (s.f.). *Hidrología- Hidrogeología*. Recuperado el 20 de Octubre de 2016, de Universidad de Salamanca, España: <http://hidrologia.usal.es/hidro.html>
- Strahler, A. N. (194). *Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks*. New York.



## APÉNDICES

**Apéndice 1. Localización general de la cuenca y Estaciones de influencia**

**Apéndice 2. Coberturas, tipos de suelos y Número de curva-CN**

**Apéndice 3. Revisión datos de estaciones de influencia**

**Apéndice 4. Curvas IDF sintéticas aproximadas**

**Apéndice 5. Hietogramas o Tormentas de diseño**

\*\*\*\*\*

## **ANEXOS**

- Anexo 1. Registros de precipitación estaciones IDEAM**
- Anexo 2. Tipos de suelos de Cundinamarca IGAC.**

\*\*\*\*\*